

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Femtocells - Impactos técnicos, regulação e novos serviços

Vitor Miguel Teixeira de Castro Gil

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Junho de 2009

Resumo

Os operadores de rede móvel publicitam que a cobertura das suas redes abrange praticamente a totalidade do território nacional. Apesar da informação veiculada, não são raras as situações em que os utilizadores se deparam com falta de cobertura ou em que a cobertura existente não permite a utilização dos serviços com a qualidade e desempenho desejadas.

As situações referidas são mais frequentes aquando da utilização dos serviços em ambientes *indoor*, onde é gerada uma percentagem significativa de todo o tráfego cursado nas redes - entre 30% e 40%.

A evolução tecnológica que se tem observado nos últimos anos, permitiu aos operadores de rede móvel lançar serviços com custos e performances próximas das que são oferecidas pelos operadores de rede fixa, factor que fomenta a substituição de serviços fixos por serviços móveis (FMS). No entanto, a incapacidade dos operadores de rede móvel em responder eficazmente aos problemas de cobertura *indoor* é um dos factores que leva a que alguns clientes continuem a optar por contratar serviços aos operadores de rede fixa para as suas residências e/ou empresas. Fica então claro que a única forma dos operadores de rede móvel se constituírem alternativa evidente aos operadores de rede fixa é através de realização de investimentos para melhoria da cobertura das suas redes em ambientes *indoor*.

Presentemente os operadores recorrem às microcells, às picocells e aos repetidores para colmatar os problemas detectados, no entanto, as primeiras apresentam a desvantagem de terem custos elevados (principalmente na componente *opex*) e os segundos não conseguem garantir a disponibilidade de recursos que determinados espaços *indoor* exigem (uma vez que se limitam a regenerar o sinal da rede Macro). Este cenário levou os fabricantes de equipamentos a desenvolver um novo tipo de célula - *FEMTOCELL* - que pretende ser o equivalente a um *AP WiFi*, mas que funciona nos espectros de frequências reguladas para as redes móveis GSM/UMTS, o que permite a utilização dos terminais que os clientes já possuem, sem necessidade de realizar qualquer *upgrade* dos mesmos.

Com a presente dissertação pretende-se apresentar as femtocells, identificando os factores que justificam o investimento dos operadores neste tipo de soluções, os impactos

que as mesmas terão nas redes actuais e as questões regulamentares que têm de ser acauteladas no seu *deployment*. Serão também enunciadas as eventuais oportunidades de negócio que as características intrínsecas das femtocells poderão potenciar, oportunidades estas que têm vindo a ser alvo de discussão em vários fóruns na Internet e que têm demonstrado capacidade de captar a atenção dos operadores e dos clientes.

Abstract

The mobile network operators advertise the coverage of their networks comprises almost the whole national territory. In spite of this information, there are several situations in which users have no coverage or the existing coverage does not allow using the services with the suitable quality and performance.

The referred situations are more frequent when these services are used indoor, where a significant percentage of the traffic is generated - between 30 and 40%.

The technological evolution, which has been seen these years, has enabled mobile network operators to launch services with costs and performances similar to those offered by landline network operators, factor which increases the replacement of landline services by mobile ones. However, the inability of mobile network operators to answer effectively to the problems of indoor coverage leads many clients to choose landline network operators and hire their services for their houses and/ or companies. It is therefore clear that the only way for the mobile network operators to present themselves as an obvious alternative to landline network operators is through investments for the improvement in the coverage of their networks in indoor environments.

Currently, operators use microcells, picocells and repeaters to tackle the problems identified. However, the former have as a disadvantage the high costs (especially in the opex component) and the latter cannot ensure the availability of resources that some indoor spaces require (since they only regenerate the signal of the Macro network).

This context lead equipment manufacturers to develop a new type of cell - FEMTOCELL - which is supposed to be an equivalent to a AP WiFi but which functions in the frequency spectrums regulated for mobile networks GSM/UMTS, which enables the use of terminals that clients already have without having the need to perform any upgrade.

The following thesis intends to present femtocells. Firstly, through the identification of the factors that justify the operators' investment in this type of solution, secondly, the impact femtocells will have in the current networks and the ruling criteria needed for their deployment. Business opportunities, which might be set off by femtocells intrinsic

characteristics, will also be mentioned because they have been a theme for discussion in several Internet forums proving they can draw the attention of operators and clients.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Mário Jorge Moreira Leitão agradeço a oportunidade que me concedeu de realizar a dissertação num tema de interesse para a minha vida profissional, permitindo-me aprofundar o conhecimento num assunto tão em voga no mercado das comunicações móveis.

Agradeço ao Eng.º José Maurício Costa, responsável pelo departamento de Gestão de Projectos de Dados e Multimédia na TMN, por ter permitido que investisse parte do meu tempo na preparação da dissertação.

Agradeço à minha família e à Alexandra todo o apoio dado e motivação inculcada durante o processo de elaboração da dissertação.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos	xvii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Motivações	1
1.2 - Objectivos da dissertação	1
1.3 - Contribuição da dissertação.....	2
1.4 - Estrutura da dissertação	2
Capítulo 2	5
Enquadramento	5
2.1 - Factores que potenciaram o surgimento das femtocells	5
2.1.1 - Deficiente cobertura <i>indoor</i>	5
2.1.2 - Limitações das soluções utilizadas na melhoria de cobertura <i>indoor</i>	7
2.1.3 - Serviços mais exigentes	8
2.1.4 - Migração fixo-móvel	10
2.2 - Origem das femtocells	12
2.3 - “Estado da arte”	14
2.3.1 - Aspectos gerais	14
2.3.2 - Arquitectura	17
2.3.2.1 - Arquitectura “3GPP HNB Standard”	18
2.3.2.2 - Arquitectura “3GPP UMA/GAN Standard”	20
2.3.2.3 - Arquitecturas “IMS-based”	21
2.4 - Perspectivas de adopção da tecnologia	22
Capítulo 3	25
Regulação.....	25

3.1 - Serviços de emergência	25
3.2 - Operação em espectro de frequências regulado.....	28
3.3 - Impactos dos campos electromagnéticos na saúde dos utilizadores	34
3.4 - “Relação” entre operadores e qualidade de serviço	36
3.5 - “Mobilidade” das femtocells e potenciais impactos na rede Macro.....	38
Capítulo 4	41
Impactos técnicos	41
4.1 - Arquitectura: Elementos constituintes e suas funções.....	41
4.2 - Gestão das femtocells	45
4.3 - Integração das femtocells na rede	46
4.3.1 - Relação com os operadores fixos/ISP	47
4.3.2 - Impacto das femtocells na rede Macro	51
4.3.3 - Configuração da femtocell e suporte de localização	55
4.3.4 - Frequências a <i>Scrambling Codes</i>	57
4.3.5 - Sinalização associada ao estabelecimento de chamada CS e PDP	57
Capítulo 5	61
Novos serviços	61
5.1 - Aplicabilidade das femtocells	61
5.2 - Femtocells e a <i>Long Term Evolution</i>	65
Capítulo 6	69
Conclusões	69
Referências	73

Lista de figuras

Figura 2.1 - Mapas de cobertura publicados nos sites dos operadores de rede móvel nacionais (Portugal continental) ^[1]	6
Figura 2.2 - Exemplo de planeamento de rede móvel. Nas áreas de maior tráfego, tipicamente, os operadores móveis optam por reduzir a dimensão das células de rede. Esta opção permite garantir mais recursos para a área em causa, mas em contrapartida representa um acréscimo de risco de interferência entre células de rede (pois exige uma reutilização mais frequente das frequências).....	6
Figura 2.3 - Imagens de uma picocell, de um repetidor e de uma femtocell. Nestas imagens é claramente perceptível o investimento dos fabricantes de femtocells no desenvolvimento de soluções esteticamente apelativas.	7
Figura 2.4 - Tráfego de downlink por tipo de serviço ^[4]	8
Figura 2.5 - Evolução do tráfego de dados nas redes móveis ^[4]	8
Figura 2.6 - Distribuição do tráfego de dados nas redes móveis ^[5]	9
Figura 2.7 - Utilização de serviços móveis ^[6]	9
Figura 2.8 - Evolução do número de serviços Banda Larga ^[7]	10
Figura 2.9 - Penetração de serviços fixos e móveis ^[8]	11
Figura 2.10 - Evolução de tecnologias de rede móvel ^[9]	12
Figura 2.11 - Arquitectura simplificada de solução baseada em Femtocells. Um dos objectivos das femtocells é a utilização dos acessos BL existentes para interligação com o core da rede móvel ^[11]	13
Figura 2.12 - Relação entre coberturas dos vários tipos de células de rede móvel ^[17]	14
Figura 2.13 - Processo de registo de uma Femtocell na rede ^[39]	15
Figura 2.14 - Processo de registo de UE em femtocell configurada em modo aberto ^[39]	16
Figura 2.15 - Processo de registo de UE em femtocell configurada em modo fechado ^[39]	16
Figura 2.16 - Arquitectura de rede 3G simplificada ^[19]	18
Figura 2.17 - Stack protocolar da interface luh.	19

Figura 2.18 - Arquitectura <i>HNB Standard</i> ^[20]	20
Figura 2.19 - Arquitectura <i>UMA/GAN Standard</i> ^[20]	21
Figura 2.20 - Arquitectura <i>SIP/IMS-based</i> ^[19]	21
Figura 2.21 - Perspectivas de comercialização de femtocells no período 2008 - 2012 ^[21]	23
Figura 3.1 - Restrições básicas para campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz) ^[33]	35
Figura 3.2 - Níveis de referência para exposição a campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz, valores eficazes não perturbados) ^[33]	35
Figura 3.3 - Níveis de referência para correntes de contacto de objectos condutores (f em KHz) ^[33]	35
Figura 4.1 - Arquitectura <i>HNB Standard</i>	42
Figura 4.2 - Processo de inicialização de uma femtocell - fluxo de autenticação de femtocell (baseado em cartão SIM) e estabelecimento de túnel IPsec.	43
Figura 4.3 - Processo de inicialização de uma femtocell - fluxo de autenticação de femtocell (baseado em cartão USIM) e estabelecimento de túnel IPsec.	44
Figura 4.4 - O âmbito do protocolo definido no TR-069 é a definição de mecanismos que permitam a interacção remota entre um ACS e os CPE, garantindo o aprovisionamento, o diagnóstico, a gestão e a actualização dos equipamentos (SW e firmware), de forma segura ^[44]	45
Figura 4.5 - Identificação das interacções que terão de ocorrer entre o operador de rede móvel e o operador de rede fixa para que seja possível cumprir os requisitos exigidos pela regulação vigente, na definição de uma oferta baseada em femtocells.....	49
Figura 4.6 - O recurso a LAC e SAC específicos para identificação das femtocells na rede poderá ser uma opção para limitar o impacto da introdução das femtocells na rede Macro. As LAC definidas para a rede Macro e para a rede Femto não têm de coincidir, quer em número, quer em área geográfica.....	52
Figura 4.7 - Estrutura aplicável à rede Femto, com identificação dos parâmetros rádio específicos.	53
Figura 4.8 - Identificação dos cenários de interferência que se apresentam aos operadores de rede móvel, com a introdução das femtocells nas suas redes ^[47]	53
Figura 4.9 - Para que seja possível implementar solução baseada em femtocells, existirá a necessidade de esconder a arquitectura Femto da rede Macro, recorrendo-se a níveis de abstracção para o efeito. Estes níveis não são do conhecimento da rede Macro, mas permitem a identificação unívoca das femtocells na rede.....	57
Figura 4.10 - Fluxo de estabelecimento de chamada de voz entre terminais 3G (receptor em idle mode).....	58
Figura 4.11 - Processo de activação de contexto PDP para utilizador registado numa femtocell.	59
Figura 5.1 - As femtocells poderão potenciar o desenvolvimento de novas aplicações para serviços WEB 2.0.....	63

Figura 5.2 - Exemplos de interfaces suportadas pela aplicação UX-Zone.	64
Figura 5.3 - Evolução das tecnologias utilizadas nas redes móveis e débitos máximos suportados por cada uma delas.	65
Figura 5.4 - Tendência de redução no custo por bit, potenciada pela introdução de novas tecnologias nas redes móveis.....	65
Figura 5.5 - Esquemas de modulação suportados nas redes LTE e sua aplicabilidade em função da qualidade de cobertura de rede.....	66

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Características base das femtocells Huawei (3G/HSDPA) e Ericsson (2G).....	15
Tabela 3.1 - Descrição do formato da mensagem passada para Ponto de Atendimento do serviço de emergência ^[23]	26
Tabela 3.2 - Códigos válidos para preenchimento do campo RR ^[23]	26
Tabela 3.3 - Estrato do Regulamento das Radiocomunicações, subordinado às comunicações móveis terrestres ^[28]	29
Tabela 3.4 - Atribuição das frequências para operação das redes móveis terrestres, definidas no QNAF 2008 (Redes GSM e UMTS) ^[28]	31
Tabela 4.1 - Descrição dos cenários de interferência associados à introdução das femtocells na rede.	54

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

2G	Redes móveis de 2ª geração (GSM)
3G	Redes móveis de 3ª geração (UMTS)
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	Redes móveis de 4ª geração (LTE)
AAA	<i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
ACS	<i>Auto-Configuration Server</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ANACOM	Autoridade Nacional das Comunicações
AP	<i>Access Point</i>
ARN	Autoridade Reguladora Nacional
ARPU	<i>Average revenue per user</i>
BD	Base de Dados
BL	Banda Larga
BRAS	<i>Broadband Remote Access Server</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Station</i>
Capex	<i>Capital Expenditure</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
CS	<i>Circuit Switched</i>
CSG	<i>Closed Subscriber Group</i>
CWMP	<i>CPE WAN Management Protocol</i>
DL	<i>Downlink</i>
DR	Diário da República
EAP-AKA	<i>Extensible Authentication Protocol for UMTS Authentication and Key Agreement</i>
EAP-SIM	<i>Extensible Authentication Protocol using GSM Subscriber Identity Module</i>

FMC	<i>Fixed-Mobile Convergence</i>
FMS	<i>Fixed-Mobile Substitution</i>
GAN	<i>Generic Access Networks</i>
GAN-C	<i>Generic Access Network Controller</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GPON	<i>Gigabit-capable Passive Optical Network</i>
GPRS	<i>Generic Packet Radio System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GTP	<i>GPRS Tunneling Protocol</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HNB	<i>Home Node B (Femtocell)</i>
HNBAP	<i>Home Node B Application Part</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA+	<i>Evolved High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
ICP	<i>Instituto das Comunicações de Portugal</i>
IKE	<i>Internet Key Exchange</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
ISAKMP	<i>Internet Security Association and Key Management Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
LAC	<i>Location Area Code</i>
LTE	<i>Long Term Evolution (4G)</i>
MIEEC	<i>Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores</i>
MS	<i>Mobile Subscriber</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
MSISDN	<i>Mobile Station International ISDN Number</i>
MVNO	<i>Mobile Virtual Network Operator</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
Opex	<i>Operational Expenditure</i>
OSG	<i>Open Subscriber Group</i>
PB	<i>Peta (10¹⁵) Bytes</i>

PS	<i>Packet Switched</i>
QNAF	Quadro Nacional de Atribuição de Frequências
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAC	<i>Routing Area Code</i>
RAI	<i>Routing Area Identity</i>
RANAP	<i>Radio Access Network Application Part</i>
RNC	<i>Radio Network Controllers</i>
RNS	<i>Radio Network System</i>
RR	Regulamento das radiocomunicações
RTWP	<i>Received Total Wideband Power</i>
RUA	<i>RANAP User Adaptation</i>
SA	<i>Security Association</i>
SAC	<i>Service Area Code</i>
SAI	<i>Service Area Identifier</i>
SeGW	<i>Security Gateway</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SI	Sistemas de Informação
SIM	<i>GSM Subscriber Identity Module</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
UARFCN	<i>UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number</i>
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UL	<i>Uplink</i>
UMA	<i>Unlicensed Mobile Access</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System (3G)</i>
UNC	<i>UMA Network Controller</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
USIM	<i>UMTS Subscriber Identity Module</i>
UTRA	<i>UMTS Terrestrial Radio Access</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Motivações

Nos últimos 3 anos, as femtocells têm sido um dos assuntos mais discutidos no mercado das telecomunicações móveis^[56]. No início de 2007, integradas no congresso 3GSM, foram feitas demonstrações da tecnologia que fizeram com que os operadores de rede móvel comesçassem a ver nas femtocells uma potencial solução para os problemas de cobertura verificados em ambientes *indoor*, mas acima de tudo uma oportunidade para ganhar mercado aos operadores fixos, tendo em consideração o nível de penetração dos serviços móveis (que já superou os 100%).

Portugal não foge à tendência que se verifica a nível mundial e também os operadores de rede móvel nacionais analisam os riscos e os benefícios da introdução das femtocells nas suas redes.

Trabalhando num dos três operadores de rede móvel, encontrei nas femtocells um tema interessante para realização da minha dissertação, que me permite aprofundar conhecimentos numa área que me permite valorizar do ponto de vista profissional.

1.2 - Objectivos da dissertação

Esta dissertação tem como objectivos analisar o estado de desenvolvimento das femtocells, identificar as questões que se colocam ao seu *deployment* e oportunidades de negócio que comecem a ser conhecidas, relacionadas especificamente com as femtocells^[59].

1.3 - Contribuição da dissertação

Com a presente dissertação pretendo identificar claramente os benefícios que as femtocells trarão para os operadores que as adotem, mas simultaneamente ambiciono listar os pontos onde a tecnologia ou modelos de negócio definidos apresentam lacunas e que podem condicionar a adoção das femtocells por parte dos operadores.

1.4 - Estrutura da dissertação

Essencialmente a dissertação é constituída por seis capítulos, o primeiro dos quais é a presente introdução.

No primeiro capítulo de desenvolvimento, “*Enquadramento*”, abordo os factores que justificaram o surgimento das femtocells e que legitimam o interesse que a temática reúne no seio dos operadores de comunicações (principalmente junto dos que têm operações móveis). Neste capítulo descrevo igualmente o percurso das femtocells, desde os primeiros planos da Alcatel, até ao reconhecimento das ofertas actualmente disponíveis (baseadas em femtocells). Faço ainda uma breve descrição do “*estado da arte*”, onde identifico as três arquitecturas de rede propostas pelo 3GPP para a adopção das femtocells e concluo com a apresentação das conclusões de alguns estudos realizados por consultoras internacionais, que trabalham na área das comunicações e novas tecnologias, subordinados ao tema da aceitação da tecnologia no mercado e perspectivas de *rollout* da mesma.

No capítulo seguinte, “*Regulação*”, apresentam-se as questões mais críticas que se colocam às femtocells, do ponto de vista da regulação. Temas como a localização, para suporte do serviço 112 ou de interceptação judicial, a utilização de frequências reguladas ou a possibilidade das femtocells serem instaladas pelos próprios clientes, em locais não controlados pelos operadores e consequentes riscos para as redes Macro, serão abordados neste capítulo.

“*Impactos técnicos*” é o tema do capítulo seguinte. Aqui apresentarei a arquitectura “*3GPP HNB Standard*”, identificando os elementos que a constituem e descrevendo as suas principais funções. Introduzirei ainda a solução adoptada pelo 3GPP, *Femto Forum* e *Broadband Forum* para a gestão das femtocells - TR-196^[45], protocolo recentemente normalizado e que tem como base o protocolo TR-069^[44], utilizado pelos operadores de rede fixa na gestão remota dos CPE que suportam os serviços BL (modems/routers xDSL). Por último, descreverei potenciais soluções para integração das femtocells nas redes dos operadores.

No quinto capítulo, “*Novos serviços*”, identificarei serviços e aplicações que tiram proveito das características intrínsecas das femtocells, para permitir responder às necessidades dos clientes e estimular a utilização dos terminais móveis quando estes se encontrem em ambientes cobertos por femtocells (sejam eles empresariais ou residenciais).

Nas “*Conclusões*”, com base em toda a informação recolhida durante o processo de elaboração da dissertação, apresentarei a minha visão sobre as femtocells, identificando os benefícios que estas poderão trazer para os operadores, mas não deixando de reconhecer os pontos que ainda necessitam de análise profunda, para poder ser tomada decisão fundamentada do *deployment* das femtocells.

Capítulo 2

Enquadramento

Neste capítulo apresentam-se os factores que justificaram o investimento dos fornecedores de equipamentos de telecomunicações no desenvolvimento das femtocells e quais as motivações dos operadores de rede móvel na adopção das femtocells nas suas redes^[52].

É ainda apresentada a origem das femtocells, com identificação das ofertas comerciais disponíveis e previsões de adopção da tecnologia para os próximos anos.

2.1 - Factores que potenciaram o surgimento das femtocells

2.1.1 - Deficiente cobertura *indoor*

Apesar da informação transmitida pelos operadores de rede móvel indicar que as suas redes cobrem quase 100% do território nacional^[1], a percepção dos clientes é em muitas situações contraditória, ver figura 2.1 .

Em grande parte dos casos, a deficiente cobertura é observada em ambientes *indoor*, onde o sinal propagado pelas redes Macro não consegue chegar com os níveis exigidos para prestação de serviços com qualidade e desempenho.

Estudos realizados indicam que, na Europa, entre 30% e 40% de todo o tráfego efectuado nas redes móveis é realizado quando os utilizadores se encontram no interior de edifícios^[2], sendo que na sua maioria estes serviços são suportados por células da rede Macro, normalmente instaladas outdoor, no topo de edifícios ou mastros, para garantir uma cobertura de rede mais abrangente de forma a otimizar a utilização dos recursos rádio atribuídos aos operadores^[58].

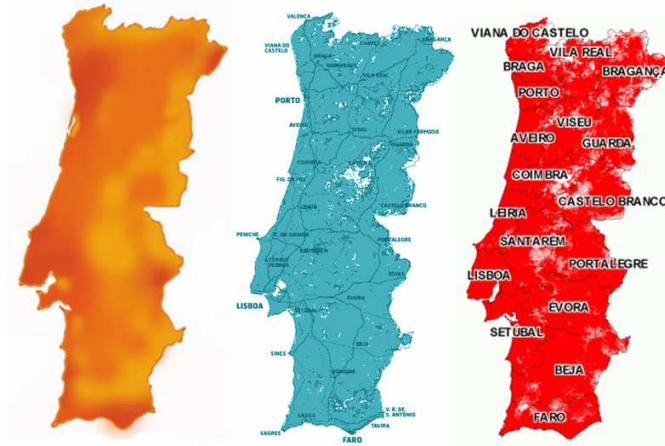


Figura 2.1 - Mapas de cobertura publicados nos sites dos operadores de rede móvel nacionais (Portugal continental)^[1].

O planeamento das redes móveis é efectuado com base na morfologia da área a cobrir e no tráfego expectável para a mesma.

Em áreas densamente povoadas (onde tipicamente é realizado mais tráfego) as células têm tendencialmente dimensões mais reduzidas. Esta realidade implica uma reutilização mais frequente das frequências, o que, caso não se controle eficazmente a potência de emissão de cada célula, se traduz em maiores riscos de interferência entre células.

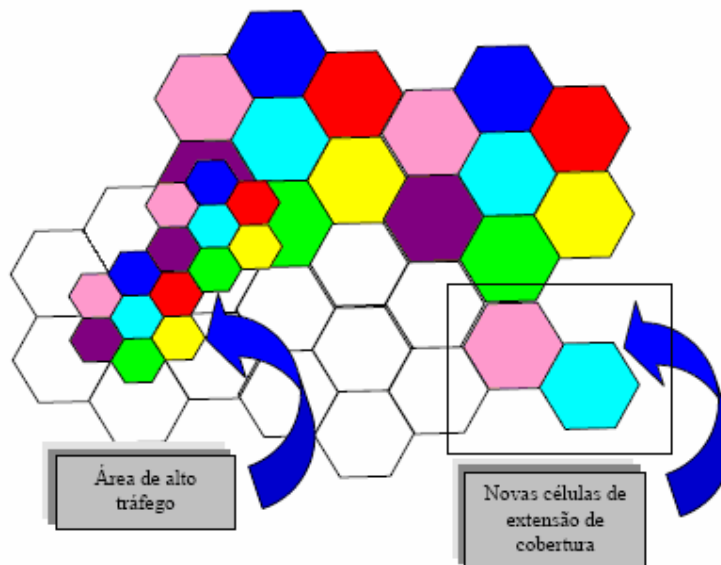


Figura 2.2 - Exemplo de planeamento de rede móvel. Nas áreas de maior tráfego, tipicamente, os operadores móveis optam por reduzir a dimensão das células de rede. Esta opção permite garantir mais recursos para a área em causa, mas em contrapartida representa um acréscimo de risco de interferência entre células de rede (pois exige uma reutilização mais frequente das frequências).

É precisamente nestas situações que se verificam maiores problemas de cobertura *indoor*, que tipicamente são resolvidos com recurso a células de menor dimensão (microcells ou picocells) e, em algumas situações, a repetidores.

2.1.2 - Limitações das soluções utilizadas na melhoria de cobertura *indoor*

O crescimento quase exponencial do tráfego nas redes móveis e o lançamento comercial de serviços convergentes baseados em localização - serviços tipo Casa t - exigem dos operadores de rede móvel respostas eficazes aos problemas de cobertura, nomeadamente de cobertura *indoor*.

Conforme referido, nestas situações os operadores de rede móvel socorrem-se de células de menor dimensão (que permitem aumentar a capacidade da rede e garantir a qualidade de cobertura desejada) para ultrapassar as limitações identificadas anteriormente. No entanto, as opções existentes apresentam algumas limitações para os operadores e clientes:

- A redução da dimensão das células aumenta a capacidade da rede (rádio). Este aumento de capacidade ao nível da rede de acesso tem de ser acompanhado de investimentos no core da rede, para que esta tenha capacidade de transportar o tráfego adicionalmente suportado.
- O recurso a microcells e picocells, para além de representar um *capex* superior para os operadores de rede móvel, associado ao custo acrescido destes equipamentos face às femtocells, também exige maior *opex*, derivado da necessidade de existência de circuitos dedicados para integração destas células com os RNC/BSC.
- Os repetidores, contrariamente às microcells, picocells ou femtocells, limitam-se a regenerar o sinal captado da rede Macro e a propagá-lo em ambiente *indoor*. Esta opção, apesar de resolver os problemas de cobertura, não resolve problemas associados à falta de recursos de rede podendo não se traduzir numa melhoria evidente da situação observada antes da instalação do equipamento.

As microcells, picocells ou repetidores, apesar de serem equipamentos com possibilidade de instalação *indoor*, não reflectem a preocupação com o seu *design*, algo que é evidente nas femtocells. Quando a instalação é feita em ambientes fabris esta questão poderá não ser um grande entrave, no entanto a instalação deste tipo de equipamentos no mercado residencial poderá ser dificultada devido a este factor.



Figura 2.3 - Imagens de uma picocell, de um repetidor e de uma femtocell. Nestas imagens é claramente perceptível o investimento dos fabricantes de femtocells no desenvolvimento de soluções esteticamente apelativas.

2.1.3 - Serviços mais exigentes

Historicamente os serviços de voz têm representado a maior percentagem de todo o tráfego cursado nas redes móveis. Nos últimos anos, devido ao incremento dos débitos suportados nas redes móveis, à disponibilização em massa de modems USB (3G/HSPA/HSPA+)^[3] e à comercialização/disponibilização de serviços cada vez mais apelativos, o tráfego de dados tem assumido uma preponderância cada vez maior para os operadores de rede móvel^[4].

É previsível que o tráfego de voz continue a crescer em relação aos números actuais, até pela tendência dos clientes em substituírem serviços fixos por móveis. No entanto, o tráfego de dados terá um crescimento muito mais acentuado (algo que já hoje se verifica), pelo que num período de 5 anos os dados deverão representar mais de 90% de todo o tráfego cursado nas redes móveis. As figuras que se seguem, que fazem parte de um estudo realizado pela Analysys Mason em Novembro de 2008, apresentam exactamente estas previsões de crescimento para o período 2008-2015.

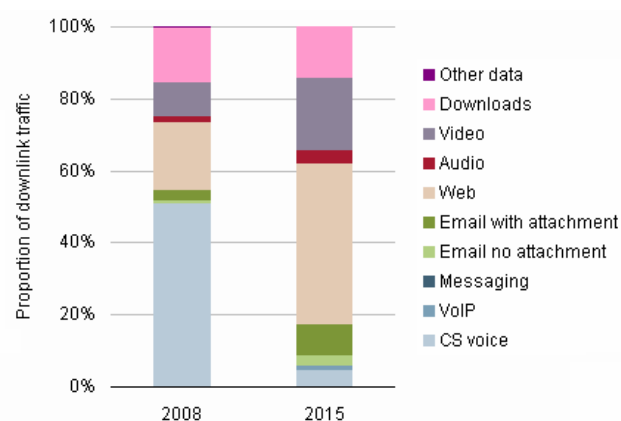


Figura 2.4 - Tráfego de downlink por tipo de serviço^[4].

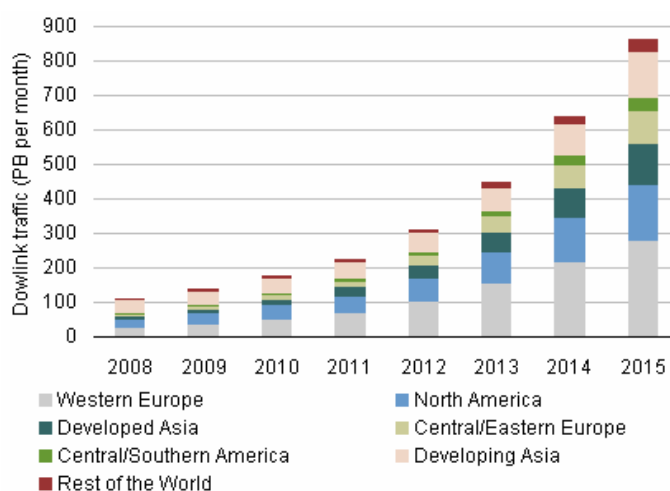


Figura 2.5 - Evolução do tráfego de dados nas redes móveis^[4].

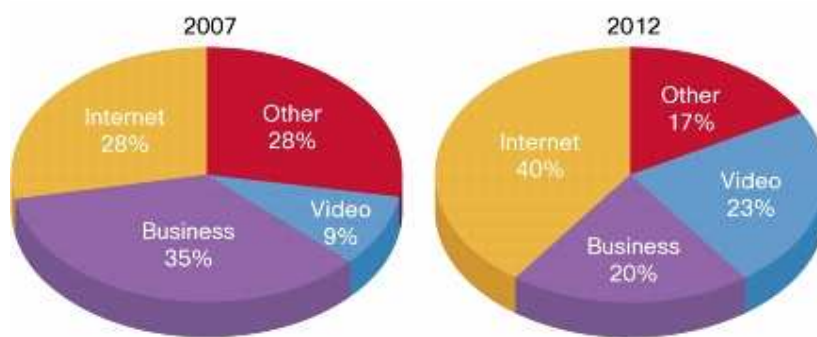


Figura 2.6 - Distribuição do tráfego de dados nas redes móveis^[5].

Para os utilizadores de serviços de telecomunicações a voz é cada vez mais uma *commodity*, assumindo os serviços de dados uma importância crescente. Para os operadores de rede móvel esta tendência tem alguns desafios associados, pois apesar da voz ser um serviço crítico do ponto de vista de requisitos de qualidade de rede, os serviços de dados são normalmente mais exigentes do ponto de vista dos recursos de rede.

Num estudo realizado pela *Growth for Knowledge* (no primeiro trimestre de 2008) chegou-se à conclusão que cerca de 77% do tráfego associado a serviços de BL móvel é realizado quando os utilizadores se encontram dentro de edifícios.

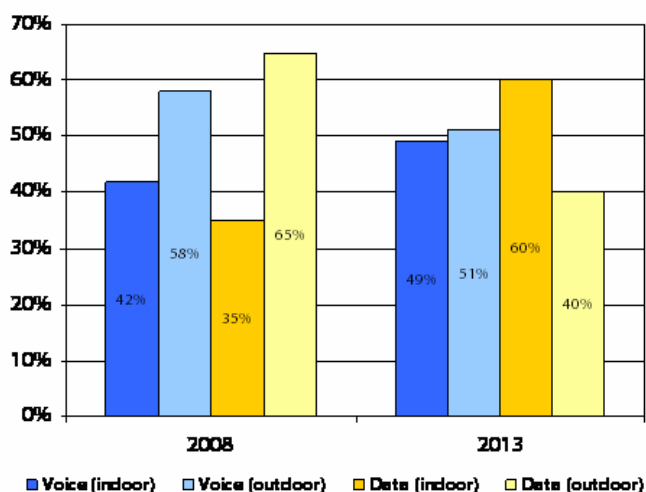


Figura 2.7 - Utilização de serviços móveis^[6].

Tendo em consideração alguns estudos realizados por consultoras internacionais^[7], que prevêem que o número de clientes de banda larga móvel ultrapasse o número de clientes de serviços de banda larga fixa no ano de 2011, ver figura 2.8, é da maior importância para os operadores de rede móvel o investimento em tecnologias que lhes permita disponibilizar os recursos de rede onde eles são efectivamente necessários, garantindo qualidade do serviço prestado, permitindo-lhes reter os seus clientes actuais e ganhar quota de mercado nos novos clientes dos serviços de banda larga móvel.

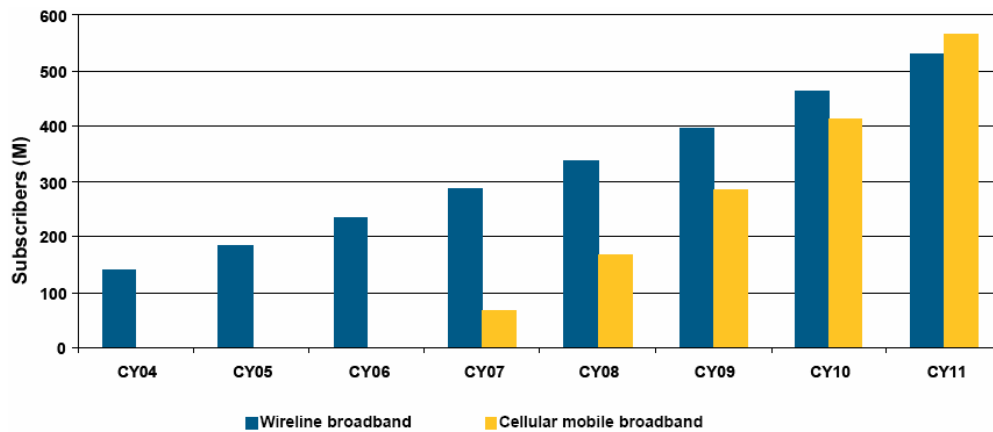


Figura 2.8 - Evolução do número de serviços Banda Larga^[7].

2.1.4 - Migração fixo-móvel

Conforme visto nos pontos anteriores, grande parte do tráfego gerado nas redes móveis tem origem quando os clientes se encontram dentro de edifícios. Este fenómeno tem tendência para crescer à medida que os débitos suportados pelas redes móveis se equiparam aos que são suportados pelas redes fixas (com a introdução de novas tecnologias, como o HSPA+ ou o LTE), pelo que é expectável que cada vez maior número de clientes opte por contratar serviços aos operadores de rede móvel em detrimento dos operadores de rede fixa^[50].

Actualmente, nos mercados desenvolvidos, a tendência de substituição de serviços fixos por serviços móveis não é um fenómeno claramente identificável (considerando-se o número relativamente estável de acessos fixos instalados), no entanto, segundo um estudo realizado pela *E-Communications Household Survey*^[8], representando a figura 2.9 os resultados do mesmo, verifica-se uma tendência de redução do número de casas que possuem apenas acesso telefónico fixo e em sentido inverso verifica-se um incremento no número de habitações que possui apenas acesso telefónico móvel.

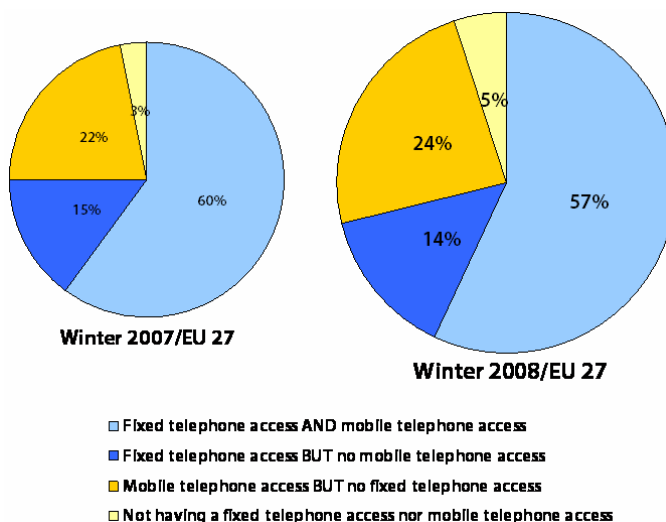


Figura 2.9 - Penetração de serviços fixos e móveis^[8].

No estudo realizado não é possível identificar com clareza que a redução do número de lares com acessos fixos se deve à migração destes clientes para serviços móveis, em todo o caso verifica-se que os novos utilizadores de serviços de comunicações optam cada vez mais por soluções móveis em detrimento das soluções fixas (para além da garantia de mobilidade, que traz associada a disponibilidade dos serviços em qualquer hora e lugar, permitem o acesso aos serviços contratados através de um único terminal, factor cada vez mais importante para os utilizadores).

Tendo por base o estudo realizado pela *E-Communications Household Survey*^[8], é do interesse dos operadores de rede móvel garantir a disponibilidade comercial de serviços que captem os novos utilizadores (evitando que estes estabeleçam “laços” com operadores de rede fixa) e que estes sejam de tal forma atractivos que induzam os clientes a utilizá-los em detrimento dos serviços fixos (esta opção para além de incrementar os proveitos dos operadores de rede móvel, em última instância, poderá também levar a que alguns clientes “abduquem” dos serviços fixos que eventualmente “possuam” e optem por manter apenas os serviços móveis).

A evolução das redes móveis tem permitido aos operadores que as exploram oferecer serviços com débitos cada vez mais elevados aos seus clientes. Esta evolução, a par com a disponibilização de equipamentos terminais (modems USB HSPA)^[3] com preços acessíveis e com a tendência de redução dos custos dos serviços prestados, tem fomentado a penetração de serviços móveis tanto no mercado nacional como nos mercados internacionais ^[54].

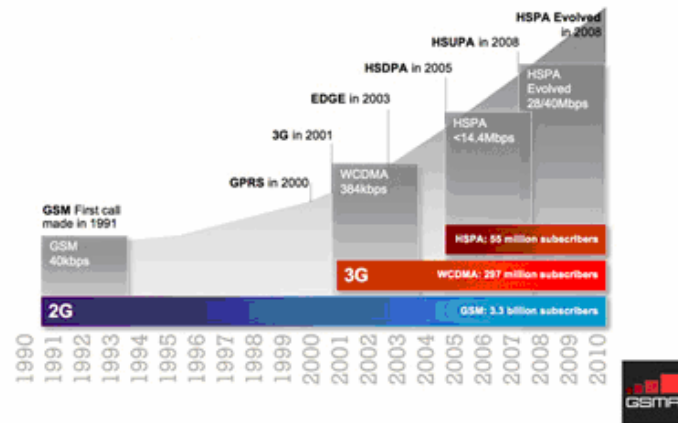


Figura 2.10 - Evolução de tecnologias de rede móvel^[9].

2.2 - Origem das femtocells

Os primeiros artigos a abordarem a temática de desenvolvimento de células específicas para utilização *indoor* datam de 1999.

Em Março de 1999 a Alcatel^[10] anunciou a intenção de desenvolver uma *GSM home base station*, compatível com os *standards* GSM, para permitir aos operadores de rede móvel responder eficazmente aos problemas de cobertura da rede Macro dentro de edifícios.

A Alcatel, na sua análise de viabilidade económica da solução, previa iniciar a comercialização da *GSM home base station* no ano 2000 e tinha como meta conseguir uma quota superior a 50% num mercado expectável de 120 milhões de unidades vendidas. Os planos da Alcatel acabaram por não se confirmar (em grande parte devido ao custo associado aos equipamentos) e o projecto foi cancelado.

Em 2002, um grupo de engenheiros da Motorola do Reino Unido apresentou o conceito do que viria a transformar-se nas femtocells.

O objectivo deste grupo de trabalho era desenvolver o equivalente a um *AP WiFi*, mas que operasse nas frequências licenciadas utilizadas nas redes móveis e fosse compatível com os protocolos normalizados da indústria. Desta forma seria possível reutilizar os terminais GSM/3G dos potenciais clientes da solução, algo que não é possível com os *AP WiFi* (excepção feita aos terminais *dual mode* - GSM/UMTS).

A solução desenvolvida por esta equipa foi um *AP GSM*, que recorria a um acesso Internet BL para interligação com a rede core do operador móvel mas que para os clientes se comportava como se de uma célula da rede Macro se tratasse, permitindo desta forma responder aos requisitos identificados.

Em 2004 foram apresentados publicamente os primeiros resultados do trabalho realizado pela Motorola e em 2005 as soluções baseadas em femtocells passaram a reunir a atenção generalizada do mercado, sendo realizadas mundialmente várias demonstrações e conferências subordinadas ao tema. Nesta fase, o número de empresas dedicadas ao

desenvolvimento de soluções baseadas em femtocells passou a contar com alguns dos nomes mais sonantes da indústria (e.g. *Samsung*, *ip.Access*, etc.).

No início de 2007, na conferência 3GSM realizada em Barcelona (Fevereiro/2007), as femtocells foram um dos principais temas de discussão, tendo alguns fornecedores de equipamentos de telecomunicações aproveitado o evento para realizar demonstrações das suas soluções.

Em Julho do mesmo ano é fundado o consórcio *Femto Forum*, que tem como objectivos promover mundialmente as soluções baseadas em femtocells e impulsionar a implementação comercial das mesmas. Este consórcio é constituído pelos principais fabricantes de *hardware* e de *software* e ainda por alguns dos principais operadores de telecomunicações mundiais.

Conforme referido, actualmente as femtocells são um dos *hypes* da indústria e reúnem a atenção de muitos operadores de rede móvel a nível mundial (existindo vários trials em curso).

Segundo informação disponibilizada nos *sites* de alguns operadores de rede móvel e nos fóruns dedicados à análise da evolução da tecnologia (*Femto Forum*^[11] e *Think Femtocell*^[12]), apenas 4 operadores lançaram comercialmente soluções baseadas em femtocells. Nos Estados Unidos da América a *Sprint*^[13] lançou o “*Airave*” e a *Verizon Wireless*^[14] lançou o “*Verizon Network Extender*” (ambas as ofertas baseadas em femtocells 2G), em Singapura a *StarHub*^[15] lançou a oferta “*StarHub Home Zone*”, baseada em femtocells 3G e, na Europa, a Vodafone UK^[16] prepara-se para disponibilizar o serviço “*Vodafone Access Gateway*”, baseado em femtocells 3G.

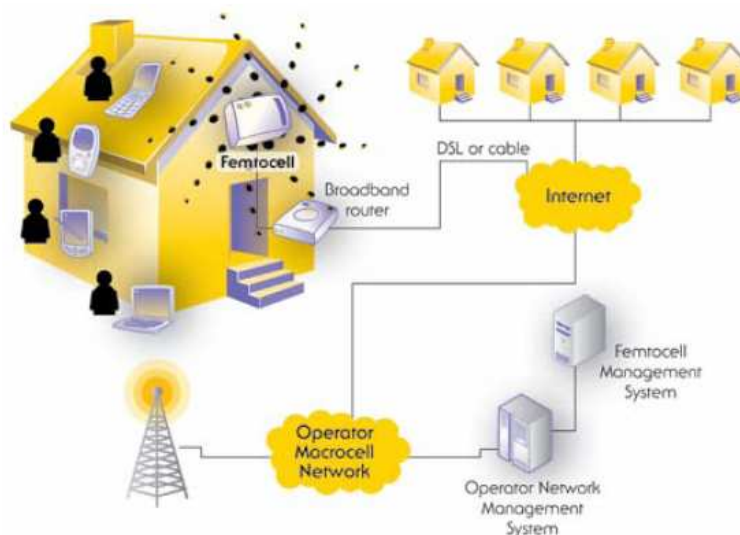


Figura 2.11 - Arquitectura simplificada de solução baseada em Femtocells. Um dos objectivos das femtocells é a utilização dos acessos BL existentes para interligação com o core da rede móvel^[11].

2.3 - “Estado da arte”

2.3.1 - Aspectos gerais

Conforme referido em pontos anteriores, as femtocells foram desenvolvidas com o principal objectivo de mitigar os problemas observados na cobertura *indoor* proporcionada pelas redes Macro.

Funcionando no mesmo espectro de frequências das restantes células de rede móvel, as femtocells garantem a total compatibilidade com os terminais que os clientes já possuem (2G ou 3G), suportando todas as funcionalidades/serviços das restantes células (macro, micro, pico). As potências de emissão utilizadas são muito inferiores às utilizadas nas células de rede Macro, entre os 20mW e os 100mW, pelo que estão claramente vocacionadas para garantir a cobertura de pequenos espaços.

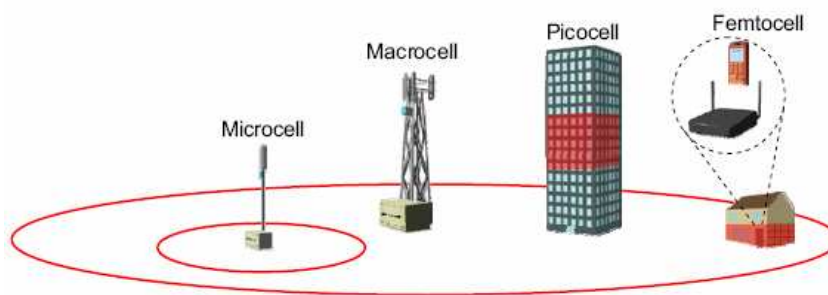


Figura 2.12 - Relação entre coberturas dos vários tipos de células de rede móvel^[17].

As femtocells, que do ponto de vista físico podem confundir-se com *AP WiFi*, recorrem a acessos BL para integração com o core das redes móveis, permitindo aos operadores reduzir custos de *capex* e *opex* na melhoria da cobertura de pequenos espaços.

Por recorrerem ao espectro de frequências licenciado para as redes móveis, a operação e gestão das femtocells tem de ser garantida por operadores com licença para operação no espectro identificado.

Para fazer face à actual oferta de terminais móveis foram desenvolvidas soluções baseadas na tecnologia 2G e na tecnologia 3G, sendo que a grande maioria dos fornecedores optou por desenvolver as suas soluções baseadas na tecnologia 3G.

Segundo um estudo realizado pela *Infonetics Research*^[18], no final de 2006 existiam 2,5 biliões de terminais móveis a nível mundial sendo 7% destes 3G. No estudo foi apresentado uma previsão que revelava que no final de 2010 o número total de terminais móveis ascendesse a 3,6 biliões, sendo 11% destes 3G. Atendendo a estes números, e sendo um dos objectivos das femtocells a reutilização dos terminais móveis dos clientes, é perfeitamente justificável o investimento realizado por alguns dos fabricantes no desenvolvimento de soluções baseadas em femtocells 2G.

Alguns dos fornecedores optaram também por desenvolver femtocells distintas para o mercado de consumo e para o mercado empresarial. Esta opção deve-se à diferença de

requisitos observados nos dois mercados e permite aos operadores adaptar as suas ofertas às necessidades dos seus clientes.

As femtocells residenciais destinam-se, tipicamente, à cobertura de zonas de menor dimensão e onde não se prevê a existência de um número muito elevado de terminais a realizar tráfego em simultâneo, ao passo que as femtocells empresariais foram desenvolvidas tendo em consideração os requisitos das pequenas empresas onde poderá existir a necessidade de servir um maior número de terminais e cobrir áreas de maior dimensão.

As características típicas destas femtocells são as que se apresentam em seguida:

Tabela 2.1 – Características base das femtocells Huawei (3G/HSDPA) e Ericsson (2G).

	2G	3G/HSPA	
		Residencial	Empresarial
<i>Espectro de frequências</i>	UL: 1805-1880MHz DL: 1710-1785MHz	UL: 1920-1980MHz DL: 2110-2170MHz	UL: 1920-1980MHz DL: 2110-2170MHz
<i>Potência máxima de emissão</i>	100mW	20mW	100mW
<i>Débitos</i>	GPRS	HSDPA até 7,2Mbps HSUPA até 1,44Mbps	HSDPA até 7,2Mbps HSUPA até 1,44Mbps
<i>N.º de utilizadores em simultâneo</i>	2	4	16
<i>Consumo</i>	<6W	17W	17W

Para além da opção do tipo de femtocell (Empresarial/Residencial), também está prevista a possibilidade dos clientes definirem o modo de funcionamento das mesmas (Aberto/Fechado). Estes modos de funcionamento permitem aos clientes que contratem o serviço definir se as suas femtocells devem ficar acessíveis a qualquer terminal que entre na área de cobertura destas (modo Aberto), ou se apenas um conjunto pré-definido de terminais conseguirá usufruir dos serviços suportados pelas fetocells (modo Fechado). No caso das femtocells configuradas em modo fechado é necessário garantir que no decurso do processo de provisionig das mesmas o HNB Manager para além configurar o modo de funcionamento Fechado, aprovisiona também os MSISDN que poderão registar-se nas femtocells e usufruir dos seus serviços.

O processo genérico de registo de uma femtocell na rede é o que se apresenta na figura que se segue.

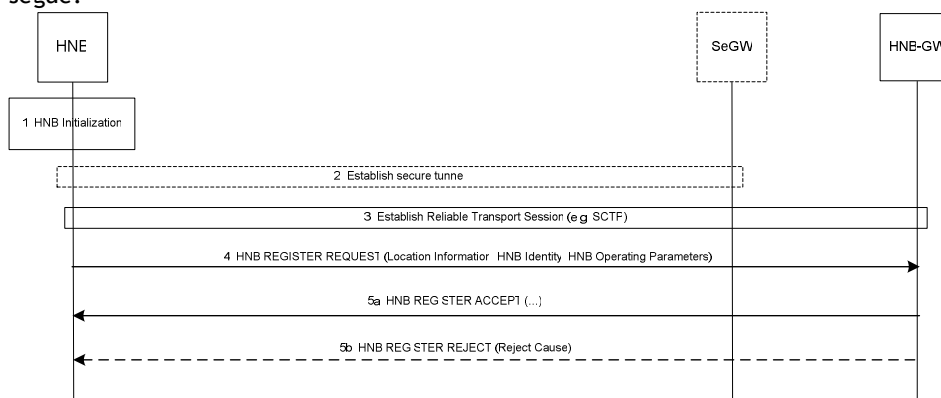


Figura 2.13 – Processo de registo de uma Femtocell na rede ^[39].

Como referido as femtocells poderão ser configuradas em modo aberto ou fechado, pelo que o processo de registo dos UE nestas dependerá da sua configuração. Nos fluxos que se seguem apresentam-se as mensagens trocadas entre os UE e as femtocells durante o seu processo de registo (nas variantes de configuração femtocell aberta e femtocell fechada).

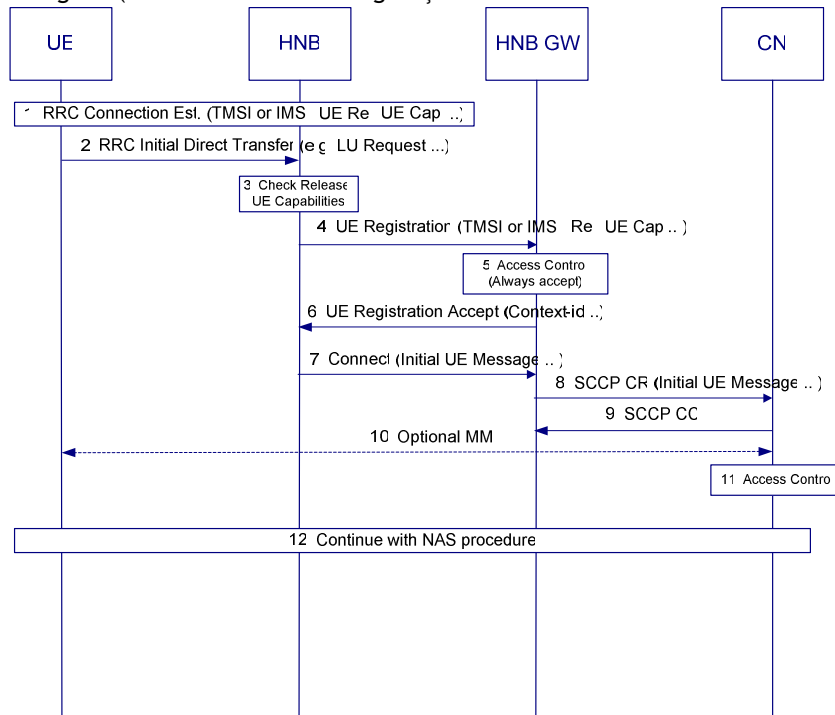


Figura 2.14 – Processo de registo de UE em femtocell configurada em modo aberto^[39].

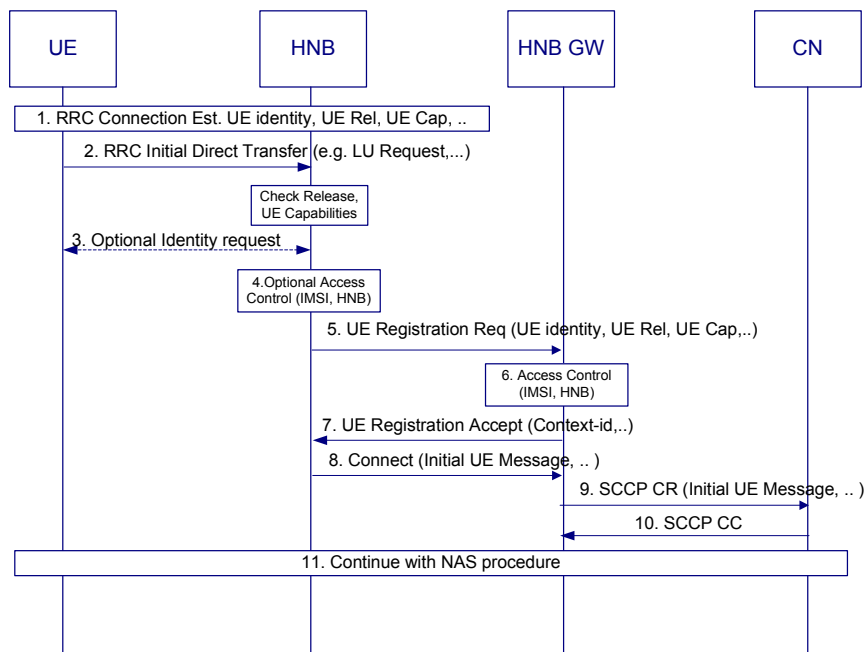


Figura 2.15 – Processo de registo de UE em femtocell configurada em modo fechado^[39].

Dos principais fornecedores de equipamentos de telecomunicações, apenas a *Ericsson* optou por desenvolver exclusivamente uma solução baseada em femtocells 2G (não

disponibilizando neste momento soluções baseadas em femtocells 3G). Esta aposta deve-se em grande medida ao modelo de negócio elaborado, que vê estes equipamentos como uma solução para a resolução de problemas de cobertura *indoor* para suporte de serviços de voz e que prevê que os clientes continuem a utilizar serviços WiFi/ADSL para suporte do seu tráfego de dados.

A opção da Ericsson é justificável com base nos seguintes pressupostos:

- Um dos pré-requisitos no desenvolvimento das femtocells era a sua compatibilização com os terminais existentes. Conforme referido, cerca de 90% do parque mundial de terminais móveis são 2G (em Portugal cerca de 80% do parque de terminais móveis é 2G), pelo que esta opção permite a “reutilização” da maioria dos terminais existentes.
- A existência de um acesso BL é um dos pré-requisitos para a instalação das femtocells. Actualmente existem ISP que oferecem acessos banda larga ADSL que suportam velocidades até 24 Mbps, pelo que tendencialmente os clientes optarão por usufruir dos maiores débitos suportados pelo seu acesso xDSL em detrimento dos débitos suportados nos serviços móveis (baseados nas tecnologias HSPA) - sendo as femtocells usadas exclusivamente para suporte de serviços CS.

Apesar da opção tomada pela Ericsson fazer sentido, a realidade mostra que os operadores que neste momento testam a tecnologia escolhem, tendencialmente, as soluções baseadas em femtocells 3G (actualmente, segundo informação disponibilizada no site *Think Femtocell*, apenas 2, dos 14 operadores que publicitaram o seu interesse na tecnologia, optaram por soluções 2G).

A escolha de soluções 3G, em detrimento das soluções 2G, deve-se fundamentalmente a:

- Oportunidades que as primeiras podem trazer na dinamização de alguns dos serviços já disponibilizados pelos operadores de rede móvel (e.g. *Mobile TV*).
- Perspectiva das femtocells permitirem o *offload* do tráfego da rede de acesso dos operadores de rede móvel para os ISP que disponibilizam os serviços BL, que suportam as femtocells.
- Expectativa de que o investimento realizado neste tipo de femtocells contribua para a habituação dos clientes na utilização de determinados serviços quando nas suas residências/escritórios e que esta utilização passe posteriormente também a ser uma realidade quando os clientes se encontrem fora destes (potenciando novas fontes de receitas)^[51].

2.3.2 - Arquitectura

As redes actuais são constituídas por milhares de células (Nós B ou BTS), instaladas estrategicamente com o objectivo de garantir uma cobertura uniforme da área de actuação do operador móvel, traduzindo-se no suporte de total mobilidade aos seus clientes.

Para permitir a cobertura de zonas densamente povoadas, os operadores recorrem a células de menor dimensão (microcells ou picocells), para garantir simultaneamente uma melhor cobertura e disponibilidade de recursos para servir os clientes das áreas onde estas células são instaladas.

Ao contrário das femtocells, as células utilizadas na rede Macro (macro, micro, pico) recorrem a links dedicados para integração com os elementos de rede responsáveis pela sua gestão e controlo (RNC/BSC).

No cenário actual, os RNC/BSC são os elementos responsáveis pela agregação do tráfego dos vários Nós B/BTS e por entregar este tráfego aos elementos do core da rede, SGSN e MSC, através das interfaces standard Iu-CS e Iu-PS, respectivamente.

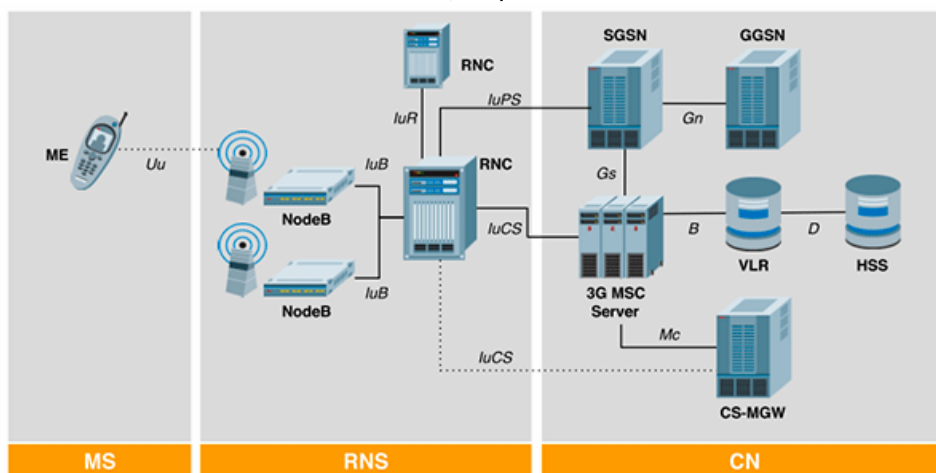


Figura 2.16 - Arquitectura de rede 3G simplificada^[19].

Com a introdução das femtocells nas redes dos operadores, estas passarão a estender-se até às casas ou escritórios dos clientes, o que se traduzirá em novos desafios - principalmente os que estão relacionados com a necessidade de integrar, gerir e controlar um universo de alguns milhares de novas células (femtocells) nas infra-estruturas já existentes.

Para responder a estes desafios, e considerando os modelos adoptados pelos vários operadores de rede móvel, foram identificadas várias arquitecturas de rede para otimizar o processo de integração das femtocells nas redes existentes.

2.3.2.1 - Arquitectura "3GPP HNB Standard"

Estas arquitecturas propõem a manutenção do *core* das redes UMTS actuais, prevendo a introdução de dois novos elementos nas mesmas - Femtocells 3G (também designadas *Home Node B*) e Femto Gateways (também conhecido como *Home Node B Gateways*).

Nestas arquitecturas as femtocells suportarão algumas das funcionalidades que actualmente são responsabilidade dos RNC e Nós B, recorrendo à interface normalizada Iuh para integração com a Femto Gateway, que assume as responsabilidades de agregação e entrega do tráfego gerado das femtocells aos elementos do *core* da rede móveis (MSC/SGSN).

A stack protocolar da interface luh é constituída por protocolos normalizados pelo 3GPP (casos dos protocolos RANAP ou GTP-u), mas introduz novos protocolos para permitir responder a requisitos específicos da arquitectura femtocell. Os novos protocolos introduzidos com a interface luh são o RANAP User Adaptation (RUA) e o Home NodeB Application Part (HNBAP).

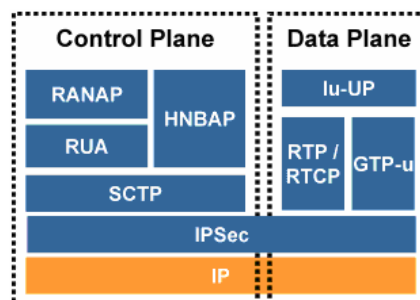


Figura 2.17 - Stack protocolar da interface luh.

Sendo a interface luh a base para a interligação das Femtocells com a Femto GW esta terá de suportar as seguintes funcionalidades:

1. Gestão *Radio Access Bearer* (RAB)
2. Gestão de recursos de rádio
3. Gestão de mobilidade
4. Segurança da solução
5. Do user-plane luh
6. Gestão do processo de registo das femtocells na rede
7. Gestão do registo dos terminais nas femtocells

Neste modelo, o protocolo RUA será responsável por garantir as funcionalidades 1 a 5, ao passo que o protocolo HNBAP será responsável pelas funcionalidades 6 e 7.

As Femto Gateways terão capacidade para integrar vários milhares de femtocells, através de interfaces luh. Como a integração das femtocells com o núcleo da rede do operador é suportada em acessos Internet BL, a Interface luh terá de suportar mecanismos de encriptação (túneis IPsec) para garantir a integridade do tráfego cursado entre estes elementos de rede.

Para integração com os elementos de rede *core* 3G, as Femto Gateways recorrerão às interfaces standard lu-CS, para integração com os MSC, e lu-PS, para integração com os SGSN.

Com este modelo pretende-se que, para os terminais 3G, as femtocells se comportem como se de células de rede Macro se tratassem.

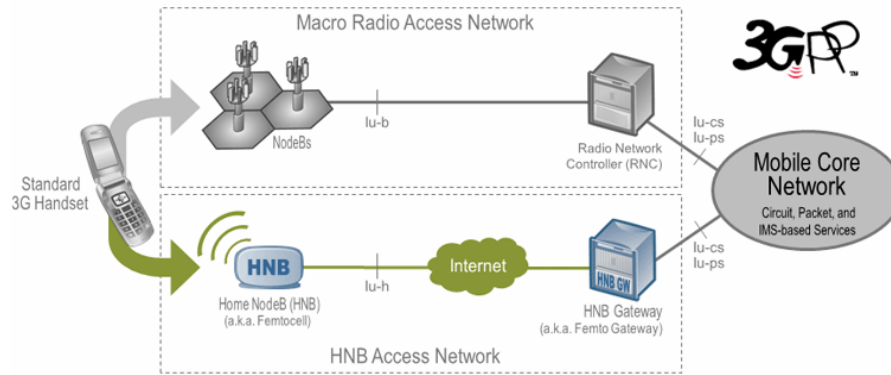


Figura 2.18 - Arquitetura HNB Standard^[20].

2.3.2.2 - Arquitetura “3GPP UMA/GAN Standard”

Ratificada na release 6 do 3GPP, a arquitetura “UMA/GAN” define a forma como serviços CS ou PS são suportados sobre redes de acesso IP, tais como xDSL ou GPON.

Esta arquitetura é suportada pelo elemento *UMA Network Controller* (UNC), também conhecido como *Generic Access Network Controller* (GAN-C), que integra a componente de acesso com o core da rede móvel.

O UNC é o elemento responsável pela agregação do tráfego gerado nos terminais *UMA-enabled* (femtocells que integram um cliente UMA) e pela entrega do mesmo aos elementos constituintes do *core* da rede. Para o lado do *core* da rede este elemento suporta as interfaces standard A/Gb (2G), lu-CS e lu-PS (3G), ao passo que para o lado da rede de acesso (Up interface) suporta uma interface IP, que garante o transporte do tráfego e sinalização de forma segura. Por permitir o transporte de tráfego móvel via acesso IP, a arquitetura UMA/GAN é particularmente adequada à implementação de serviços de convergência Fixo-Móvel (FMC).

Para os operadores que possuem uma infra-estrutura UMA, a introdução de femtocells na rede tem associada as seguintes vantagens:

- Permite que clientes utilizem os seus terminais 2G/3G, sem necessidade de serem adquiridos terminais *dual-mode*, que para além de normalmente serem mais caros também têm associados, normalmente, problemas de autonomia de bateria;
- Permite aos operadores que já comercializam serviços UMA reutilizar os investimentos realizados, garantindo uma integração simples e eficiente das femtocells na sua rede *core*.

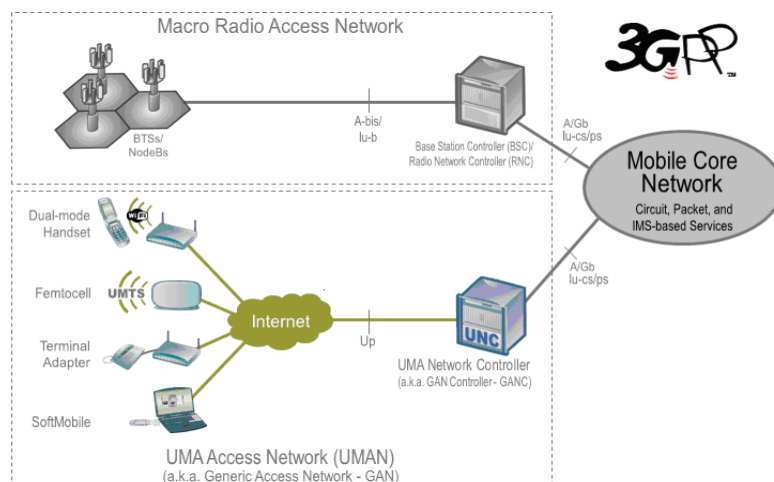


Figura 2.19 - Arquitetura *UMA/GAN Standard*^[20].

2.3.2.3 - Arquiteturas “IMS-based”

Prevêem a integração das femtocells directamente com o *core IMS*, permitindo o *offload* do tráfego gerado nas femtocells, da *rede core*. Nestas arquitecturas propõe-se que o tráfego gerado nas femtocells não seja encaminhado para o *core* da rede móvel, sendo este controlado pelos elementos da arquitectura IMS responsáveis pelo controlo das chamadas. Este tipo de solução, à semelhança das arquitecturas *UMA-based*, é particularmente adequada para os operadores que já investiram no lançamento de serviços *IMS-based*, pois permiti-lhes reutilizar os investimentos realizados para lançar novos serviços, de forma simples e eficiente.

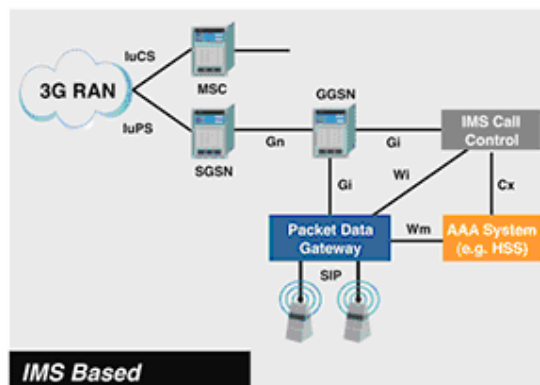


Figura 2.20 - Arquitetura *SIP/IMS-based*^[19].

Como vimos estão previstos vários modelos para integração das femtocells nas redes dos operadores de rede móvel, sendo que a opção tomada pelos operadores que venham a disponibilizar soluções baseadas em femtocells, terá em consideração as arquitecturas das suas redes e estratégias de evolução das mesmas.

Um factor comum a qualquer uma das arquitecturas supra identificadas é a necessidade de adopção de normas para implementação das soluções. A definição de interfaces/protocolos normalizados é um dos principais factores que potenciará o *deployment* de soluções baseadas em femtocells. A interoperabilidade entre as soluções dos vários

fornecedores de femtocells é crítica para se conseguir fazer baixar o preço unitário das femtocells e para que tal seja possível é importante garantir que as soluções desenvolvidas obedecem aos *standards* da indústria.

Os operadores que considerem a implementação de soluções baseadas em femtocells terão ainda de ter em atenção as seguintes questões:

- As femtocells operam em espectros de frequência regulados, pelo que os operadores terão de identificar formas que permitam mitigar os riscos associados à ocorrência de interferência entre as redes Femto e Macro (e entre as células da própria rede Femto - em zonas densamente povoadas onde o recurso às femtocells seja uma constante).
- A integração das femtocells com o *core* da rede dos operadores de rede móvel será suportada em *links* IP. Sobre estes *links* terá de cursar tráfego tão distinto quanto voz, vídeo, http, ftp ou p2p. A implementação de regras de priorização de tráfego é um factor crítico para que a experiência de utilização dos serviços suportados nas femtocells seja satisfatória.
- Os operadores de rede móvel deixam de controlar as suas redes *end-to-end*, uma vez que as femtocells (elementos constituintes das redes móveis) passarão a utilizar acessos Internet para integração com o *core* da rede móvel e transporte de tráfego gerado nas femtocells. Esta situação obrigará à definição de SLA/Acordos Comerciais entre os operadores de rede móvel e os ISP, para que se possa garantir a qualidade dos serviços prestados nas femtocells.
- Adicionalmente, os operadores de rede móvel terão ainda que se debruçar na análise de questões como:
 1. Activação, configuração, gestão e desactivação das femtocells.
 2. Regulação vigente.

Atendendo ao panorama nacional e ao objectivo definido para o trabalho, a presente dissertação focar-se-á nas soluções *3GPP HNB Standard* e suas características.

2.4 - Perspectivas de adopção da tecnologia

Em muitas situações, a qualidade da cobertura garantida pelas redes Macro dentro de edifícios não serve os interesses dos operadores de rede móvel, nem as necessidades dos seus clientes. Conforme referido, cerca de 40% de todo o tráfego das redes móveis é gerado quando os clientes se encontram em ambientes *indoor*, pelo que o investimento em estratégias que permitam a melhoria da qualidade dos serviços prestados nestes ambientes é crítico para que os operadores de rede móvel se possam apresentar como real alternativa às ofertas dos operadores de rede fixa/ISP - fomentando a substituição de serviços fixos por serviços móveis (FMS).

Segundo alguns estudos realizados por consultoras internacionais, as soluções baseadas em femtocells têm um grande potencial para o mercado das comunicações móveis, o *Yankee*

Group^[21] estima que até final de 2012 sejam comercializadas mais de 18 milhões de unidades, e a *ABI*^[22] estima que em 2011 cerca de 100 milhões de utilizadores utilizem femtocells para suporte dos seus serviços móveis.

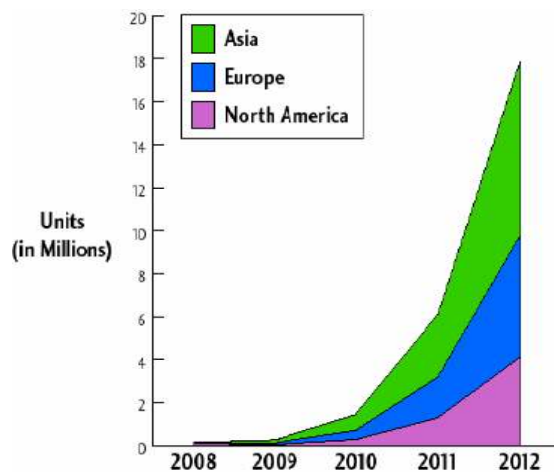


Figura 2.21 - Perspectivas de comercialização de femtocells no período 2008 - 2012^[21].

Para que as expectativas dos analistas de mercado se confirmem^[64], existem vários factores a ter em consideração:

- Capacidade dos operadores em manter os investimentos planeados, considerando a crise financeira que afecta os mercados.
- Capacidade dos operadores em encontrarem modelos de negócio apelativos, que potenciem a introdução das femtocells e que simultaneamente respeitem as regras definidas pelos vários reguladores.
- Capacidade de garantir qualidade dos serviços suportados pelas femtocells.

Capítulo 3

Regulação

Em Portugal, à semelhança do que se observa a nível internacional^[55], as soluções baseadas em femtocells têm gerado algum debate em torno da capacidades destas cumprirem a regulação aplicável aos operadores de rede móvel.

Questões como suporte de localização para serviços de emergência, a operação em espectro licenciado ou a inexistência de uma infra-estrutura dedicada, para interligação das femtocells com *core* da rede, têm de ser analisadas e enquadradas na regulação actual, podendo inclusivamente verificar-se a necessidade de solicitar aos reguladores a revisão das Leis vigentes para adequação destas às características específicas das soluções baseadas em femtocells (à semelhança do que foi feito, por exemplo, para os serviços VoIP nómadas, para os quais não existe a necessidade de cumprir com o requisito de localização aplicável ao serviço 112).

Nos pontos que se seguem apresentam-se as principais questões de âmbito regulamentar que se colocam às femtocells e potenciais soluções para responder às mesmas^[57].

3.1 - Serviços de emergência

A regulação vigente para o número europeu de emergência, 112^[23], obriga todos operadores de redes telefónicas públicas, fixas e móveis, a disponibilizar, nas chamadas para este serviço, a localização do MSISDN que origina a chamada.

Na regulação vigente, que especifica o funcionamento do serviço 112L, é indicado:

“...a Directiva n.º 2002/22/CE^[24], do Parlamento e do Conselho, de 7 de Março, cujo n.º 3 do seu artigo 26.º obriga os Estados membros a garantir que as empresas que exploram redes telefónicas disponibilizem às autoridades responsáveis pelos serviços de emergência informações sobre a localização da pessoa que efectua a chamada para o número único de emergência europeu 112 e a Recomendação da Comissão Europeia n.º 2003/558/CE^[25], de 25 de Julho, que preconiza a elaboração de regras pormenorizadas aplicáveis aos operadores de

redes telefónicas públicas para o fornecimento de informações de localização do autor daquela comunicação.

Aquelas obrigações foram transpostas para o direito Português pelo artigo 51.º da Lei n.º 5/2004^[26], de 10 de Fevereiro (LCE), cujo n.º 2 vincula as empresas que oferecem redes ou serviços telefónicos acessíveis ao público a disponibilizar, às autoridades responsáveis pelos serviços de emergência, as informações sobre a localização da pessoa que efectua a chamada para o número único de emergência europeu 112.”

No que diz respeito aos serviços prestados pelos operadores de rede móvel estes são obrigados a:

“Sempre que um utilizador efectua uma chamada para o número de emergência 112, a partir de um terminal ligado a uma rede telefónica pública móvel, é desencadeado um processo interno à rede de modo a obter a sua localização, o método a utilizar corresponde às Coordenadas Geográficas.

Numa primeira fase são enviadas as Coordenadas Geográficas da célula (centro e raio da célula). As Coordenadas Geográficas devem ser codificadas de acordo com a norma WGS84 e apresentadas no seguinte formato:

FFGGMMSSggmmssRR

Tabela 3.1 - Descrição do formato da mensagem passada para Ponto de Atendimento do serviço de emergência^[23].

Campo	Significado	Componente
FF	Formato da mensagem. Valores possíveis: 10 a 99 Nesta fase: 0x → reservado 11 → Optimus 12 → TMN 13 → Vodafone	Formato
GG	Graus	Latitude
MM	Minutos	
SS	Segundos	
gg	Graus	Longitude
mm	Minutos	
ss	Segundos	
RR	Valores possíveis: 00 a 99	Dimensão e Forma da Incerteza Nesta fase para os formatos 11, 12 e 13 RR - Raio da célula

Tabela 3.2 - Códigos válidos para preenchimento do campo RR^[23].

TMN		Vodafone		Optimus	
Digito	Raio	Digito	Raio	Digito	Raio
00	< 100 m	00	< 100 m	00	< 100m
01	< 250 m	01	< 250 m	01	< 250 m
02	< 500 m	02	< 500 m	02	< 500 m
03	< 750 m	03	< 1 km	03	< 1 km
04	< 1 km	04	< 2km	04	< 2 km
05	< 2 km	05	< 4km	05	< 4 km
06	< 4 km	06	< 10km	06	< 10 km
07	< 10 km	07	< 20km	07	< 20 km
08	< 20 km	08	< 30km	08	< 30 km
09	> 20 km	09	> 30km	09	> 30 km

Como se percebe, nas chamadas originadas nas redes dos operadores de rede móvel, uma vez que não é possível disponibilizar a localização exacta do terminal, que realiza a chamada com destino ao serviço de emergência 112 (que no caso dos clientes de serviços fixos é conseguida com base nas coordenadas geográficas associadas à morada onde está instalado o lacete local que suporta o serviço contratado), é passada a informação sobre a célula onde a chamada é realizada. Esta informação consiste nas coordenadas geográficas (latitude e longitude) e raio, aproximado, da célula.

No caso das células de rede Macro esta informação é facilmente disponibilizada pelos operadores, uma vez que as células são instaladas pelos próprios. Para responder a este tipo de requisitos os operadores tipicamente criam uma BD de geo-referenciação das células que compõem a sua rede (BD de planeamento celular), onde são registadas todas as características de cada uma das células da rede.

Esta realidade não é aplicável às femtocells, uma vez que se pretende que sejam os próprios clientes do “serviço” a instalá-las.

Uma das características desta solução, que permitirá aos operadores de rede móvel reduzir o opex de melhoria de cobertura indoor das suas redes, particularmente no mercado residencial, será a possibilidade das femtocells não exigirem a deslocação de equipas técnicas especializadas para a sua instalação e configuração (as femtocells também deverão ter a capacidade de se auto-configurarem e adaptarem ao “ambiente” que as rodeia, reduzindo a interferência com a rede Macro ou com outras femtocells que se encontrem nas imediações). Estas características, a par da utilização de acessos Internet BL para integração com o core das redes móveis, introduzirão dificuldades na forma como a localização das células é obtida.

A legislação em vigor exige que os operadores passem informação concreta sobre a localização da célula onde é iniciada uma chamada para o serviço de emergências 112, não podendo estes basear-se na informação que é prestada pelos clientes que venham a adquirir femtocells para constituição da sua BD de planeamento celular. Assim são equacionadas as seguintes opções para responder ao desafio:

- Inclusão de módulo GPS nas femtocells: esta solução passa por integrar módulo GPS nas femtocells, para que seja possível obter as coordenadas geográficas, “exactas”, de cada femtocell.

Porque um dos objectivos das femtocells é a melhoria da cobertura *indoor*, estas serão, na grande parte dos casos, instaladas no interior de edifícios, onde os módulos GPS não terão capacidade de comunicar a sua localização. Por este motivo, a adopção desta solução não deverá ser colocada em prática.

- Com base na cobertura de rede Macro: uma das características das femtocells é a capacidade destas avaliarem o meio envolvente e de ajustarem a sua configuração às condições verificadas. Com base neste mecanismo é possível através da informação recebida da rede Macro (*LAC_Macro*; *SAC_Macro*; *RAC_Macro* e *Cell_ID*) identificar a

localização geográfica, aproximada, das femtocells para resposta aos requisitos regulamentares do serviço 112.

Há que ter em atenção que este mecanismo apenas é válido para as situações em que as femtocells são instaladas em locais que também têm cobertura da rede Macro, pois nas restantes situações não será possível saber, por inferência, a localização das femtocells.

Para além desta restrição (com impactos a nível regulamentar), esta solução também não permite reduzir o grau de incerteza de localização obtida através da rede Macro (se nas zonas densamente povoadas as células da rede Macro têm tendência a ter um raio reduzido, nas zonas rurais a área abrangida pelas células da rede Macro poderá estender-se por algumas dezenas de quilómetros), pelo que apesar das femtocells apenas garantirem zonas de cobertura muito reduzidas a informação de localização disponibilizada poderá abarcar vários quilómetros.

- Recurso à morada de instalação do acesso BL que suporta as femtocells: outro dos cenários viáveis passa por utilizar a morada de instalação dos acessos BL, que servem de suporte às femtocells, para obtenção das coordenadas geográficas exigidas pela regulação aplicável ao serviço de emergência 112.

Em território nacional os CTT disponibilizam BD que associa a cada morada a respectiva localização geográfica, pelo que através desta informação é possível saber com exactidão a localização das femtocells.

Sendo encontrada uma forma que permita restringir a instalação das femtocells às moradas identificadas pelos clientes (processo que, em princípio, será garantido através do recurso ao *Line ID*) é perfeitamente possível responder aos requisitos regulamentares do serviço 112 e em simultâneo reduzir o erro aplicável ao mecanismo de localização suportado nas redes móveis.

Tal como se constata pelas hipóteses anteriormente apresentadas, existem várias opções e formas de obter a localização das femtocells para que seja possível responder aos requisitos do serviço 112, a solução ideal variará de operador para operador, consoante a sua realidade. Em todo o caso, os operadores de rede móvel terão de debruçar-se sobre este tema e identificar a solução que lhes permita garantir o cumprimento da regulação aplicável a este serviço, e que simultaneamente venha a permitir desenvolver e disponibilizar novos serviços baseados na informação de localização das femtocells^[61].

3.2 - Operação em espectro de frequências regulado

Como vimos, as femtocells operam em espectros de frequência licenciados pelas entidades responsáveis pela regulação, supervisão e representação do sector das comunicações em cada país (no caso concreto de Portugal, a ANACOM), pelo que a sua instalação e integração nas redes dos operadores de rede móvel terá de adequar-se à

FAIXA DE FREQUÊNCIAS (MHz)	ATRIBUIÇÕES DO REGULAMENTO DAS RADIOCOMUNICAÇÕES – ARTº 5 – APLICÁVEIS A PORTUGAL	PRINCIPAIS APLICAÇÕES NACIONAIS	NOTAS
1930 – 1970	FIXO MÓVEL 5.388A 5.388	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV); (1900-1980 MHz / 2110-2170 MHz)	Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz
1970 - 1980	FIXO MÓVEL 5.388A 5.388	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV); (1900-1980 MHz / 2110-2170 MHz)	Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz
1980 - 2010	FIXO MÓVEL MÓVEL POR SATÉLITE (Terra-espaço) 5.351A 5.388, 5.389A	GMPCS (1980-2010 MHz)	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV) Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz Decisão 2007/98/CE, de 14 de Fevereiro Decisão 2008/626/CE, de 30 de Junho de 2008
2010 - 2025	FIXO MÓVEL 5.388A 5.388		IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV) Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz
2110 - 2120	FIXO MÓVEL 5.388A INVESTIGAÇÃO ESPACIAL (espaço longínquo) (Terra-espaço) 5.388	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV)	Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200MHz
2120 - 2170	FIXO MÓVEL 5.388A 5.388	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV)	Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz
2170 - 2200	FIXO MÓVEL MÓVEL POR SATÉLITE (espaço-Terra) 5.351 5.388, 5.389A	GMPCS (2170-2200 MHz)	IMT-2000 – Telecomunicações móveis internacionais – 2000 (MOV) Designadas pela WARC-1992 as faixas 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz Decisão 2007/98/CE, de 14 de Fevereiro Decisão 2008/626/CE, de 30 de Junho

Com base no especificado no RR, a ANACOM definiu o quadro nacional de atribuição de frequências para o ano de 2009 (QNAF 2008) e disponibilizou aos operadores públicos de rede móvel as gamas de frequências que se identificam nas tabelas que se seguem:

Tabela 3.4 - Atribuição das frequências para operação das redes móveis terrestres, definidas no QNAF 2008 (Redes GSM e UMTS)^[28].

SERVIÇO MÓVEL TERRESTRE Global System for Mobile Communications (GSM)					
Entidade	Faixas de frequências	Data de revisão da atribuição	Direitos de utilização exigíveis	Nº de canais ⁽¹⁾	Âmbito de utilização
SONAECON - Serviços de Comunicações, S.A.	GSM 900 890 - 914 MHz 935 - 959 MHz	20-11-2012	SIM	39	n
	GSM 1800 1710 - 1785 MHz 1805 - 1880 MHz	20-11-2012	SIM	30	n
VODAFONE PORTUGAL - Comunicações Pessoais, S.A.	GSM 900 890 - 914 MHz 935 - 959 MHz	19-10-2021	SIM	40	n
	GSM 1800 1710 - 1785 MHz 1805 - 1880 MHz	19-10-2021	SIM	30	n
TMN - Telecomunicações Móveis Nacionais, S.A.	GSM 900 890 - 914 MHz 935 - 959 MHz	16-03-2022	SIM	40	n
	GSM 1800 1710 - 1785 MHz 1805 - 1880 MHz	16-03-2022	SIM	30	n
SERVIÇO MÓVEL TERRESTRE Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)					
Entidade	Faixas de frequências	Data de revisão da atribuição	Direitos de utilização exigíveis	Nº de canais ⁽¹⁾	Âmbito de utilização
VODAFONE PORTUGAL - Comunicações Pessoais, S.A.	1920-1980 MHz 2110-2170 MHz	11-01-2016	SIM	2x 20 MHz	n
	1900-1920 MHz	11-01-2016	SIM	1x 5 MHz	n
TMN - Telecomunicações Móveis Nacionais, S.A.	1920-1980 MHz 2110-2170 MHz	11-01-2016	SIM	2x 20 MHz	n
	1900-1920 MHz	11-01-2016	SIM	1x 5 MHz	n
SONAECON - Serviços de Comunicações, S.A.	1920-1980 MHz 2110-2170 MHz	11-01-2016	SIM	2x 20 MHz	n
	1900-1920 MHz	11-01-2016	SIM	1x 5 MHz	n

O ponto 1, do artigo 5º, do capítulo II do decreto-lei 151-A/2000^[29] (de 20 de Julho de 2000) indica:

“1- A utilização de redes e de estações de radiocomunicações está sujeita a licença, nos termos do presente diploma.”

O ponto 14 do mesmo artigo é referido que:

“1—As licenças de rede ou estação são transmissíveis mediante autorização prévia do ICP, a qual pode introduzir alterações às referidas licenças.”

É, portanto, claro que apenas as entidades a quem a ANACOM conceda licença para operar neste espectro de frequências poderão implementar redes de comunicações móveis GSM/UMTS, devendo estas ser responsáveis pela sua configuração, operação e manutenção e que só com a autorização da ANACOM é que estas entidades poderão ceder a terceiros os seus direitos de exploração dos espectros de frequências atribuídos.

O artigo 7º do mesmo decreto-lei diz:

“2—As licenças devem conter, designadamente:

a) Identificação do titular;

...

f) Número e localização das estações que constituem a rede, quando aplicável.”

Pretende-se que as femtocells sejam instaladas em casa dos clientes, pelos próprios, e que a sua configuração não exija a deslocação de técnicos qualificados ao local de instalação. Para além disso, a interligação das femtocells com o *core* das redes dos operadores será garantida através dos acessos Internet BL que os clientes já possuam.

Estes objectivos levam a que o cumprimento das alíneas a) e f) do ponto 2 do artigo 7º tenha de ser cuidadosamente analisado.

No caso da alínea a), os operadores poderão “proteger-se” optando pelo aluguer das femtocells (associadas a uma oferta tarifária específica), no entanto, mesmo esta opção terá de ser avaliada (e em última instância esclarecida com a ANACOM).

A licença de utilização dos espectros de frequência supra identificados pressupõe que estes recursos sejam utilizados na implementação de redes públicas de comunicações móveis terrestres, pelo que a instalação das femtocells em ambientes *indoor*, para uso restrito dos frequentadores desses espaços (na situações em que os clientes solicitam a configuração das femtocells configuradas em modo fechado) poderá colidir com os objectivos da regulação.

No que diz respeito à alínea f), sendo as femtocells instaladas pelos próprios clientes e interligadas com a rede Macro dos operadores através de acessos Internet BL, não existe a possibilidade destes comunicarem as respectivas instalações ao regulador (indicando as suas localizações) antes da entrada ao serviço das femtocells. Neste ponto, os operadores de rede móvel terão de validar com a ANACOM a possibilidade de ser criado um regime de excepção para as femtocells, relativamente aos processos associados à colocação em serviço de células na rede Macro.

No artigo 10º refere-se que:

“Constituem obrigações dos utilizadores de redes e estações de radiocomunicações, sem prejuízo de outras decorrentes do presente diploma e demais legislação aplicável:

...

e) Permitir a fiscalização das estações, bem como o acesso ao local da respectiva instalação, exclusiva ou partilhada, pelos agentes de fiscalização competentes;

...

h) Apor, em todas as estações fixas, no seu exterior e em local bem visível, uma placa da qual conste a identificação do utilizador e os meios de contacto de quem possa facultar o acesso à instalação.”

Uma vez mais o facto das femtocells se destinarem a instalação *indoor* levanta questões relativamente às alíneas e) e h) dos pontos supra identificados, pois os operadores de rede

móvel não terão capacidade de garantir ao regulador o acesso às femtocells instaladas e também não conseguirão garantir a instalação das placas indicadas na alínea h) e todas as localizações onde forem instaladas femtocells. Estes pontos exigirão negociação dos operadores de rede móvel com os reguladores, para que (uma vez mais) as femtocells tenham associado um regime de excepção.

A obrigatoriedade de afixar sinalética específica nos locais de instalação das femtocells - identificada no número 2, do artigo 21º - não poderá ser garantida pelos operadores de rede móvel, uma vez que estas serão instaladas pelos clientes do “serviço”.

“2 – Nos locais de instalação de estações fixas de radiocomunicações e respectivos acessórios, designadamente antenas, é obrigatória a afixação de sinalização informativa que alerte sobre os riscos da referida instalação.”

Fica claro que o recurso a espectros de frequência licenciados para operação das femtocells levanta um conjunto de questões relevantes que os operadores de rede móvel terão de considerar no desenho das suas ofertas comerciais.

Pretende-se que as femtocells sejam equipamentos para melhoria de cobertura *indoor*, pelo que na maioria das situações terão de ser instaladas neste ambiente, o que impede os operadores de rede móvel de garantir os requisitos de acesso às mesmas e de colocação de sinalética específica.

Tal como referido anteriormente, as femtocells podem ser configuradas para funcionarem em modo fechado ou aberto. Caso os operadores de rede móvel optem por permitir a configuração das femtocells em modo fechado, estes poderão incorrer em penalidades uma vez que esta opção “colide” com as regras definidas para a atribuição de frequências. No artigo 16º, da lei 5 de 2004 e referido que:

“1 - Compete à ARN publicitar anualmente o Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF), o qual deve conter:

...

b) As faixas de frequência reservadas e a disponibilizar, no ano seguinte, no âmbito das redes e serviços de comunicações electrónicas, acessíveis e não acessíveis ao público, especificando os casos em que são exigíveis direitos de utilização, bem como o respectivo processo de atribuição;

...”

No âmbito do QNAF, é definido que as frequências atribuídas aos operadores móveis terrestres devem ser utilizadas para implementação de redes públicas, que garantam os “... critérios objectivos, transparentes, não discriminatórios e de proporcionalidade.” previstos na Lei 5^[26], de 10 de Fevereiro de 2004.

A opção de permitir a configuração das femtocells em modo fechado vai na realidade criar “pequenas” redes privadas que subvertem os princípios de atribuição das frequências, pelo que esta questão deverá ser discutida com o regulador antes que ser tomada qualquer

decisão relativamente à possibilidade das femtocells virem e ser configuradas em modo fechado.

3.3 - Impactos dos campos electromagnéticos na saúde dos utilizadores

No despacho conjunto número 8 de 2002^[30], publicado no D.R., 2ª Série de 7 de Janeiro de 2002, é referido que:

“O grande desenvolvimento das telecomunicações nos últimos anos, associado à utilização sempre crescente de novas tecnologias, tem tido como uma das mais visíveis consequências a proliferação de estações de radiocomunicações e respectivos acessórios, designadamente antenas, quer nas áreas urbanas quer nas áreas rurais.

Esta situação é comum a muitos outros países, verificando-se uma preocupação crescente, designadamente no âmbito da União Europeia, com as possíveis consequências da emissão de radiações não ionizantes para a saúde humana, as quais têm sido objecto de estudos, destacando-se os da autoria da Comissão Internacional para a Protecção das Radiações Não Ionizantes (ICNIRP)^[31].

Em 12 de Julho de 1999, o Conselho da União Europeia adoptou uma recomendação (1999/519/CE)^[32] relativa à limitação da exposição da população aos campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz).

Em Portugal, e tendo já presente a recomendação do Conselho, o Decreto-Lei n.º 151-A/2000^[29], de 20 de Julho, consagrou a obrigatoriedade de as entidades competentes aprovarem «níveis de referência para efeitos de avaliação da exposição a campos electromagnéticos ou normas europeias ou nacionais baseadas em procedimentos de medição e cálculo reconhecidos e provados cientificamente, destinados a avaliar a conformidade com as restrições básicas relativas à exposição da população a campos electromagnéticos».

No âmbito deste despacho foi criado um grupo de trabalho interministerial com os seguintes objectivos:

- “a) Analisar a Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE^[32], de 12 de Julho de 1999;
- b) Propor um quadro de restrições básicas e níveis de referência adequados, tendo em consideração, designadamente, os estudos, as normas e as práticas internacionais nesta matéria;
- c) Elaborar propostas de actuação concretas, designadamente através de medidas preventivas a aplicar na instalação de estações/antenas de radiocomunicações;
- d) Apresentar a conclusão dos trabalhos aos Ministros representados no grupo de trabalho.”

A portaria 1421/2004^[33] publicada no D.R. 1ª série, de 23 de Novembro de 2004, reflecte as conclusões do trabalho realizado pelo grupo supra referido, que, com base na

recomendação do Conselho, de 12 de Julho de 1999 (1999/519/CE)^[32], apresentou a seguinte proposta:¹

Gama de frequências	Densidade de fluxo magnético, B (mT)	Densidade de corrente, J (mA/m ²) (valor eficaz)	SAR média para todo o corpo (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membros) (W/kg)	Densidade de potência, S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
> 0 Hz-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1 Hz-4 Hz	—	$8/f$	—	—	—	—
4 Hz-1000 Hz	—	2	—	—	—	—
1000 Hz-100 kHz	—	$f/500$	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	$f/500$	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10 GHz-300 GHz	—	—	—	—	—	10

Figura 3.1 - Restrições básicas para campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz)^[33].

Gama de frequência	Intensidade do campo, E (V/m)	Intensidade do campo, H (A/m)	Intensidade do campo, B (μT)	Densidade de potência equivalente de onda plana S_{eq} (W/m ²)
0 Hz-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1 Hz-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8 Hz-25 Hz	10 000	$4 000/f$	$5 000/f$	—
0,025 kHz-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8 kHz-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3 kHz-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15 MHz-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1 MHz-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10 MHz-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figura 3.2 - Níveis de referência para exposição a campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz, valores eficazes não perturbados)^[33].

Gama de frequências	Corrente de contacto máxima, I_c (mA)
0 Hz-2,5 kHz	0,5
2,5 kHz-100 kHz	$0,2 f$
100 kHz-110 MHz	20

Figura 3.3 - Níveis de referência para correntes de contacto de objectos condutores (f em KHz)^[33].

A ANACOM, por deliberação de 6 de Abril de 2001, adoptou as restrições e os níveis de referência fixados na recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE^[32], de 12 de Julho de 1999, pelo que é com base nestes que é feita a fiscalização às redes dos operadores públicos de rede móvel.

As femtocells, apesar de funcionarem no mesmo espectro de frequências que as células utilizadas na rede Macro, operam com potências de emissão muito inferiores às que são utilizadas na rede Macro (na ordem dos 100mW). Estas potências são as indicadas para garantir a cobertura dos espaços onde se pretende que sejam instaladas mas suficientemente reduzidas para minimizar a interferência provocada por estas na cobertura de outras femtocells vizinhas ou da rede Macro.

¹ A proposta apresentada vai ao encontro do que foi publicado pela ICNIRP no relatório “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”^[34].

Por outro lado, como os terminais móveis que se registem nas femtocells vão estar mais próximos do raio de acção destas, é também espectável que a potência gerada pelo terminais seja inferior à que seria necessária para suporte das mesmas comunicações na rede Macro, pelo que também se reduz o potencial impacto que a utilização destes equipamentos possa ter para a saúde pública.

Para garantir a compatibilidade com as recomendações da ICNIRP^[31], que foram aprovadas pela WHO^[35], o desenvolvimento das femtocells segue os mesmos parâmetros aplicados às restantes células GSM/UMTS, pelo que a garantia de cumprimento das restrições e dos níveis de referência supra identificados é garantida pelos fornecedores dos equipamentos.

Certo é que os operadores de rede móvel contemplarão, nos seus testes de aceitação das soluções baseadas em femtocells, cenários que permitam validar o cumprimento da regulação vigente sobre a matéria.

Mais informação sobre questões associadas aos potenciais impactos das femtocells na saúde das pessoas poderá ser obtida nos sites das seguintes entidades: ICNIRP^[31], WHO^[35], GSM Association^[36], Mobile Manufacturers Forum^[37] e Femto Forum^[11].

3.4 - “Relação” entre operadores e qualidade de serviço

No ponto “Operação em espectro de frequências regulado” foi abordada a questão das femtocells poderem ser instaladas e configuradas para funcionarem em modo fechado, questão que pode colidir com a natureza da atribuição das frequências atribuídas aos operadores de rede móvel.

Neste ponto, a utilização de acessos Internet BL associada à configuração das femtocells em modo aberto coloca outro tipo de questões de âmbito regulamentar aos operadores.

Actualmente os operadores de rede móvel recorrem a circuitos ATM (com $n \times 2\text{Mbps}$) para integração das suas células de rede (BTS ou Nós B) com os elementos (respectivamente MSC ou RNC) responsáveis pelo seu controlo e agregação do tráfego gerado. O custo associado ao aluguer destes circuitos é um dos factores que mais pesa na componente *opex* dispendida pelos operadores para manutenção/operação das suas redes. Com a adopção de acessos Internet BL para suporte da integração das femtocells com o *core* das redes móveis será possível aos operadores reduzir o *opex* associado à melhoria de cobertura *indoor*.

Nas situações onde não exista qualquer acesso BL e seja o operador de rede móvel a contratar o mesmo para suporte, apenas se colocará a questão referida nos artigos 5º e 27º, da lei 5 de 2004^[26]:

“Artigo 5.º

1 - Constituem objectivos de regulação das comunicações electrónicas a prosseguir pela ARN:

...

c) Defender os interesses dos cidadãos, nos termos da presente lei.

...

4 - Para efeitos do disposto na alínea c) do n.º 1, incumbe à ARN, nomeadamente:

...

f) Assegurar que seja mantida a integridade e a segurança das redes de comunicações públicas.”

“Artigo 27.º

1 - Sem prejuízo de outras condições previstas na lei geral, as empresas que oferecem redes e serviços de comunicações electrónicas apenas podem estar sujeitas na sua actividade às seguintes condições:

...

c) Manutenção da integridade das redes públicas, nomeadamente mediante condições que impeçam a interferência electromagnética entre redes e ou serviços de comunicações electrónicas, nos termos dos Decretos-Lei n.ºs 74/92, de 29 de Abril, e 98/95, de 17 de Maio, e respectivas medidas regulamentares;

...

e) Segurança das redes públicas contra o acesso não autorizado nos termos da legislação aplicável à protecção de dados pessoais e da privacidade no domínio das comunicações electrónicas;

...

g) Protecção dos dados pessoais e da privacidade no domínio específico das comunicações electrónicas, em conformidade com a legislação aplicável à protecção de dados pessoais e da privacidade;”

Tendo em consideração o meio utilizado para integração das femtocells com o core das rede móveis, as soluções disponibilizadas pelos vários fabricantes, conforme descrito no Capítulo 2 - Impactos Técnicos, socorrem-se de túneis IPsec para garantir a segurança e integridade do tráfego gerado nas femtocells, pelo que com o recurso a este mecanismo se assegura a conformidade com o descrito na Lei.

Quando, para instalação das femtocells, se pretender utilizar os acessos BL existentes (contratados por outras entidades) outras questões terão de ser consideradas.

Se a femtocell é configurada para funcionar em modo aberto, qualquer terminal móvel da rede a que pertença a femtocell (ou de outro operador, desde que possua acordo de *roaming* válido) poderá registar-se nesta e realizar tráfego. No limite, estes terminais poderão ocupar integralmente a largura de banda suportada pelo acesso BL onde a femtocell está ligada. Esta questão levanta três problemas:

- Operador de rede móvel socorre-se de um acesso BL, que não foi contratado por si, para transportar o tráfego gerado num elemento da sua rede até ao core desta.

- A utilização deste acesso não respeita os princípios de interligação entre operadores, pelo que a utilização do acesso é indevida e poderá originar um processo de contra-ordenação e consequente aplicação de coima pelo regulador. Para o efeito deverá respeitar-se a lei 5 de 2004, artigos 5º, 22º, 27º, 63º, 66º, 73º, 77º e 78º;
- Como não são definidas regras, ao nível da rede do operador que fornece o acesso BL, para diferenciação de tráfego, o tráfego gerado nas femtocells, independentemente dos seus requisitos/características, é tratado de igual forma (e.g. não é atribuída qualquer prioridade ao tráfego de voz ou vídeo face ao tráfego de dados), pelo que não será possível garantir a qualidade dos serviços disponibilizados.
- Este comportamento, para além de justificar mais reclamações por parte dos clientes, não reflecte o enunciado nos artigos 5º, 40º, 48º, 69º, 86º e 92º, da lei 5 de 2004, onde se exige aos operadores que “assegurem aos utilizadores ofertas com o máximo benefício em termos de escolha, preço e qualidade”.
- O facto, já atrás referido, das femtocells serem configuradas em modo aberto poderá originar que os clientes sejam responsáveis por tráfego que por eles não é gerado e que lhes será imputado pelo fornecedor dos serviços BL que suportam as femtocells.

Esta situação é tanto mais grave que em última análise, o tráfego gerado nas femtocells pode impedir os clientes de realizar tráfego no seu acesso BL, mesmo que o tráfego gerado nas femtocells não lhes possa ser imputado.

Se por um lado o recurso a acessos Internet BL constitui uma oportunidade para os operadores de rede móvel reduzirem o *opex* associado à operação das suas redes, nomeadamente na resposta à melhoria de cobertura *indoor*, por outro esta solução levanta um conjunto de questões que carecem de resposta efectiva antes que seja possível definir uma oferta comercial baseada em femtocells.

O modelo a definir terá forçosamente de contemplar o factor “relação entre operadores”, identificar os mecanismos que permitam garantir a qualidade dos serviços suportados (seja pelas femtocells, seja pelo próprio acesso BL fixo) e permitir diferenciar, do ponto de vista da factura, o tráfego gerado nas femtocells daquele que é gerado nos acessos BL fixos.

3.5 - “Mobilidade” das femtocells e potenciais impactos na rede Macro

As femtocells serão adquiridas e preferencialmente instaladas pelos clientes, cabendo ao operador a responsabilidade da configuração e colocação em serviço dos equipamentos. O facto da instalação das femtocells não exigir deslocação de equipas técnicas especializadas é uma mais-valia para a solução, pois permite reduzir o *opex* da mesma. No entanto o facto dos clientes poderem em qualquer instante alterar a localização das suas femtocells constitui um desafio para os operadores que venham a disponibilizar comercialmente este tipo de soluções.

Quando as femtocells são inicializadas, após ligação a um acesso BL, tentarão (com base na configuração que os operadores tenham introduzido nas mesmas) registar-se na Femto GW (também designada de Access Gateway), para obtenção da configuração que lhes permitirá integrarem-se com a rede do operador e começarem a funcionar. No processo de configuração das femtocells, com base na localização da instalação das mesmas, os equipamentos responsáveis pela gestão da solução vão-lhes atribuir a portadora e *scrambling code* que as femtocells utilizarão quando em operação, bem como informação de LAC e SAC (que as identificará univocamente na rede).

Quando clientes mudam as femtocells de local, as parametrizações que lhes foram atribuídas aquando do aprovisionamento inicial não estarão optimizadas para a sua nova localização, pelo que estas se transformarão numa fonte de interferência quer para a rede Macro, quer para as femtocells que se encontrem na sua vizinhança.

Para além dos fenómenos de interferência que a alteração de localização das femtocells gera, que têm impactos directos na qualidade dos serviços prestados e que poderão fazer com que os operadores deixem de cumprir com as suas obrigações, há que considerar também a hipótese desta questão (caso os operadores não tomem medidas preventivas) limitar a capacidade dos operadores no cumprimento de outros requisitos regulamentares. Por exemplo, a capacidade de identificarem alteração de localização das femtocells e que nas chamadas para o serviço de emergência europeu 112 deverá ser passada a nova localização das femtocells, em detrimento da localização original.

A alteração de localização das femtocells será um problema para o qual os operadores de rede móvel terão de se preparar. É um dado praticamente adquirido que existirão situações em que os clientes tentarão alterar a localização das suas femtocells, pelo que terão de ser identificadas estratégias que permitam:

- Ou bloquear a instalação das femtocells ao acesso (*Line_ID*) comunicado pelos clientes no momento de aquisição das femtocells;
- Ou definir mecanismos que tenham a capacidade de identificar alterações de localização das femtocells e permitir reagir atempadamente a esta alteração, seja com a alteração da configuração das femtocells, seja com a actualização dos sistemas/BD onde é guardada a informação da localização das mesmas, que servirá de suporte a serviços de localização ou de emergência.

Capítulo 4

Impactos técnicos

Com este capítulo pretende-se descrever a arquitectura “*HNB Standard*” (também designada por “*Tunneled lu*”), apresentando os módulos que a constituem e identificando as funcionalidades e interfaces suportadas. Serão também abordadas as questões relacionadas com os desafios associados à integração, gestão e operação das femtocells nas redes dos operadores de rede móvel, bem como identificados eventuais cenários que permitam ultrapassar as questões de cariz regulamentar^[53].

4.1 - Arquitectura: Elementos constituintes e suas funções

A arquitectura “*HNB Standard*”^[38] e ^[39] prevê a reutilização do núcleo das redes actuais. Para que o *deployment* desta solução venha a ser uma realidade e possa abranger o *mass-market* é crucial que a mesma permita a reutilização dos protocolos/interfaces standard hoje utilizados, pelo que existe um empenho evidente das entidades responsáveis na especificação das normas aplicáveis (leia-se *3GPPP*, *Femto Forum* e *Broadband Forum*) e dos fabricantes no desenvolvimento de soluções normalizadas, factor evidenciado pela celeridade com que foi especificado o protocolo TR-196^[40].

A arquitectura “*HNB Standard*” prevê o suporte de interfaces das actuais redes móveis para integração dos seus elementos, garantindo a total interoperacionalidade entre os novos elementos (associados às soluções femtocell) e aqueles que já existem nas redes, nomeadamente os elementos de *core* SGSN e MSC. A figura que se segue ilustra um cenário típico de integração das femtocells num operador de rede móvel e as interfaces utilizadas pelos seus elementos neste processo:

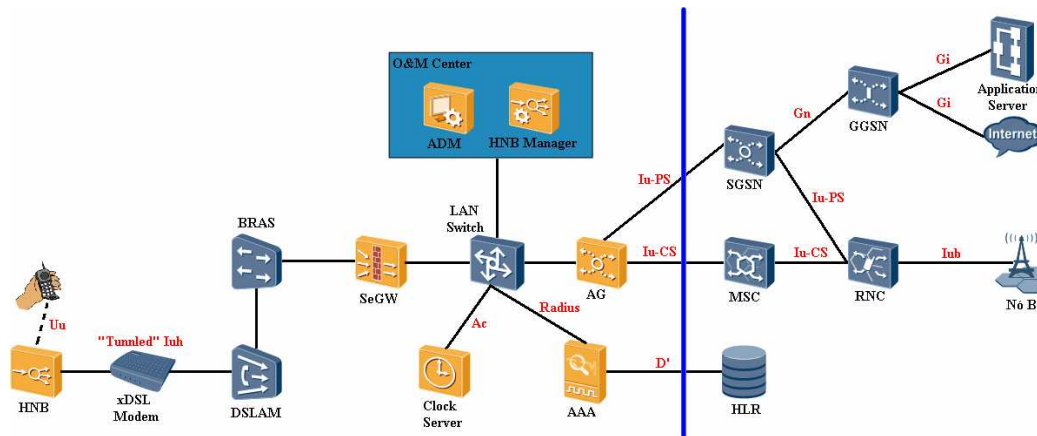


Figura 4.1 - Arquitetura HNB Standard.

As funções e interfaces suportadas por cada um dos elementos que compõem esta solução são:

AAA Server (AAA): É um elemento opcional da solução, pois poder-se-á reutilizar um outro servidor que suporte as funções de AAA existente na rede do operador móvel. Este é o elemento responsável pela autenticação das femtocells na rede, com recurso aos mecanismos de autenticação previstos (EAP-AKA e EAP-SIM). A interação entre o servidor AAA e o HLR será suportada através da interface standard D.

Access Gateway (AG): A Access Gateway, também designada Femto Gateway ou HNB Gateway, é o elemento responsável por encaminhar o tráfego proveniente das femtocells para os domínios a que este se destina (CS e/ou PS). A AG terá de suportar as interfaces standard Iu-CS e Iu-PS para integração com os elementos da rede core MSC e SGSN, respectivamente.

Para além das funções supra referidas, a AG tem também de suportar toda a sinalização necessária à disponibilização dos serviços aos clientes finais, de garantir a gestão das ligações estabelecidas com as femtocells, de controlar a qualidade de serviço e de sincronizar as femtocells com o relógio da rede a que pertencem, através do protocolo NTP.

Clock Server: Disponibiliza o sinal de relógio necessário à sincronização das femtocells com os restantes elementos da rede. Caso já exista um servidor de relógio na rede não existe a necessidade de instalar um segundo, podendo a sincronização das femtocells ser realizada a partir do sinal por este gerado. É utilizada a interface Ac para integração da AG com o servidor de sinal de relógio.

Femtocell (HNB): As femtocells são os equipamentos responsáveis por garantir a cobertura GSM/UMTS das zonas onde são instaladas, sendo o equivalente às células da rede Macro (pelo que deverão disponibilizar exactamente o mesmo tipo de serviços que por estas são suportados).

As femtocells recorrem à interface standard Uu (no caso das femtocells 3G) para suporte dos terminais dos clientes e integram-se com a AG com base na interface Iuh (recentemente

standardizada pelo 3GPP^[41] e ^[42] - em colaboração com o Femto Forum e com o Broadband Forum). A interface Iuh utiliza o protocolo HNBAP para suporte das funcionalidades de registo da femtocell e dos terminais na rede.

Como se pretende que as femtocells sejam instaladas pelos clientes e que o tráfego gerado nas, e com destino às, femtocells seja suportado por acessos Internet BL (ADSL, GPON, ...), foi necessário dotar as soluções de mecanismos de segurança que por um lado permitam autenticar estes elementos nas redes, e por outro garantam a integridade do tráfego cursado na rede pública. Para o efeito de validação/autenticação das femtocells, os fornecedores deste tipo de soluções recorrem aos protocolos EAP-SIM e EAP-AKA. Para suporte destes mecanismos de autenticação, cada femtocell comercializada terá embutido um cartão (SIM ou USIM) que servirá de base a todo o processo de autenticação dos equipamentos nas redes.

No que concerne à garantia de integridade do tráfego cursado na rede pública, as soluções recorrerão ao estabelecimento de túneis IPsec (sendo utilizado o protocolo IKEv2, especificado no RFC 4306^[43]).

Nas figuras que se seguem são apresentados os fluxos associados ao processo de autenticação das femtocells e de estabelecimento dos túneis IPsec, que garantirão a integridade da informação trocada entre estas e a HNB GW.

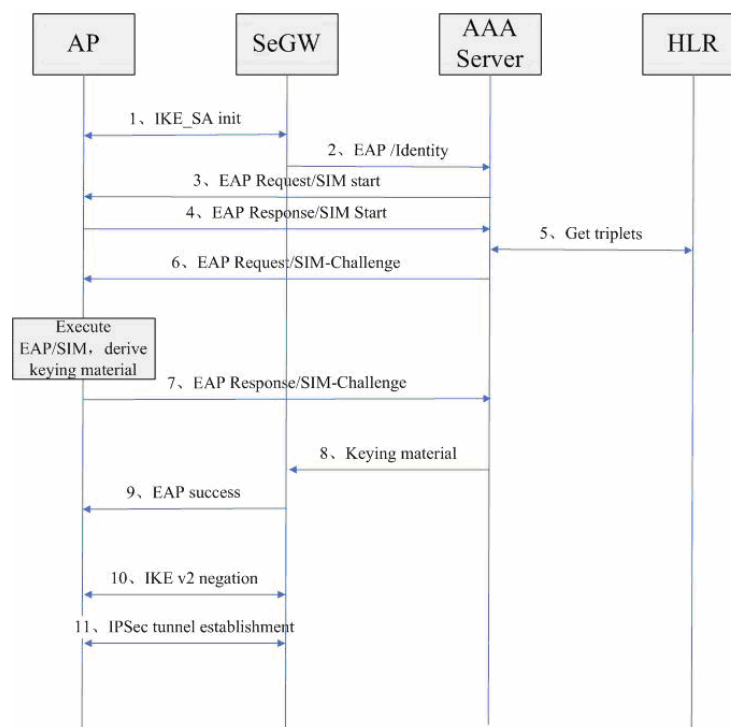


Figura 4.2 - Processo de inicialização de uma femtocell - fluxo de autenticação de femtocell (baseado em cartão SIM) e estabelecimento de túnel IPsec.

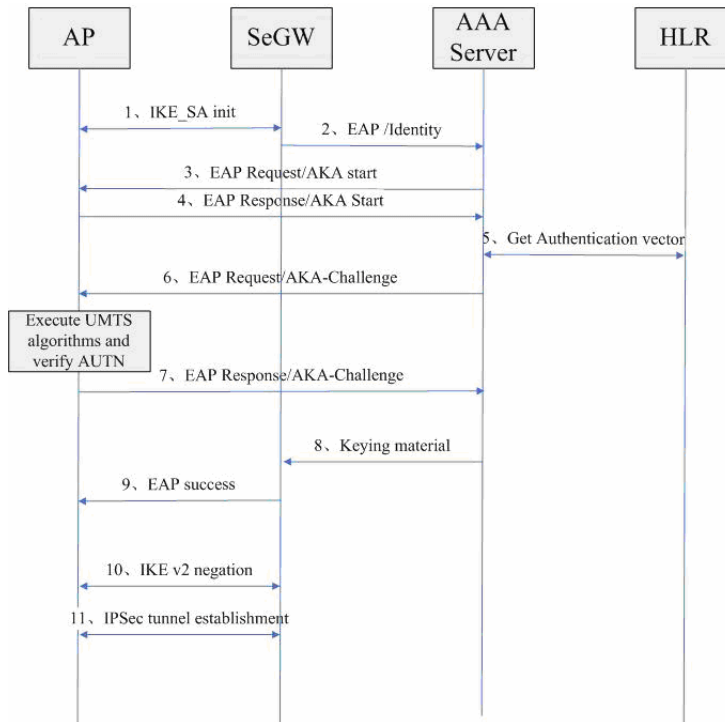


Figura 4.3 - Processo de inicialização de uma femtocell - fluxo de autenticação de femtocell (baseado em cartão USIM) e estabelecimento de túnel IPsec.

HNB Manager: O HNB Manager é o elemento responsável pela gestão, aprovisionamento, diagnóstico e *update* de SW das femtocells. Devido às características da solução, o HNB Manager deverá ter a capacidade de efectuar todas as operações supra identificadas remotamente, garantindo a disponibilidade do serviço e evitando a necessidade de deslocação de técnicos especializados aos locais onde as femtocells são instaladas.

Security Gateway (SeGW): Como se sabe, pretende-se que as femtocells sejam instaladas pelos clientes (*plug-and-play*) e que estas utilizem acessos Internet BL para transporte do tráfego gerado. Tendo em consideração estes dois aspectos, é necessário garantir a autenticação das femtocells quando estas se tentam registar na rede (processo suportado pelos protocolos EAP-AKA e EAP-SIM) e a integridade do tráfego realizado pelos clientes que nelas se registam (com recurso a túneis IPsec). A SeGW é o elemento da solução responsável por estes processos.

Conforme referido, para além dos benefícios de melhoria de cobertura e consequente incremento da qualidade dos serviços prestado, as femtocells trazem para os operadores de rede móvel uma oportunidade de reduzir o opex associado à manutenção das suas redes.

Para além das femtocells terem custos de aquisição mais reduzidos, a forma como foram especificadas as arquitecturas de *deployment* traduzem-se em proveitos claros para os operadores ao nível de aluguer de circuitos, aquisição de *site* ou processo de instalação. Qualquer uma das arquitecturas identificadas no capítulo “*Overview*”, permite ao operador que a adopte reduzir custos de *opex*, não existindo neste campo uma vantagem clara de qualquer uma delas. No entanto, a solução “*3GPP HNB Standard*” destaca-se das restantes

por permitir a integração directa com os elementos do core da rede do operador móvel que a implemente, integração suportada integralmente em protocolos standard, factor que poderá simplificar o processo de introdução das femtocells na rede e o início da comercialização de soluções com base nas mesmas.

4.2 - Gestão das femtocells

Um dos factores chave para o sucesso futuro das femtocells é o desenvolvimento de soluções que permitam a sua gestão de forma simples e eficiente.

A especificação e o desenvolvimento de soluções baseadas em normas é uma vantagem adicional para os operadores que as venham a adoptar pois, para além de garantirem a independência destes face aos fornecedores das femtocells (passará a ser possível integrar femtocells de diferentes fabricantes numa única solução e geri-las de forma integrada), poderão também contribuir para a redução do custo das femtocells (potenciando a adesão de mais clientes às ofertas que venham a ser definidas pelos operadores)^[62].

Tendo esta questão em consideração e tomando como ponto de partida o protocolo standard TR-069^[44] (*Technical Report 069 - CPE WAN Management Protocol*), do Broadband Forum, utilizado na gestão remota dos modems xDSL, o 3GPP - em colaboração com o Femto Forum e com o Broadband Forum - realizou as alterações necessárias para que este protocolo fosse também adoptado para a gestão das femtocells. Este novo standard foi publicado pelo Broadband Forum em Abril de 2009 com a designação TR-196^[45] (*Technical Report 196 - Femto Access Point Service Data Model*).

No caso do protocolo CWMP, o seu objectivo foi a definição da estrutura de dados a criar para configuração/gestão remota de CPE a partir de um equipamento central, ACS.

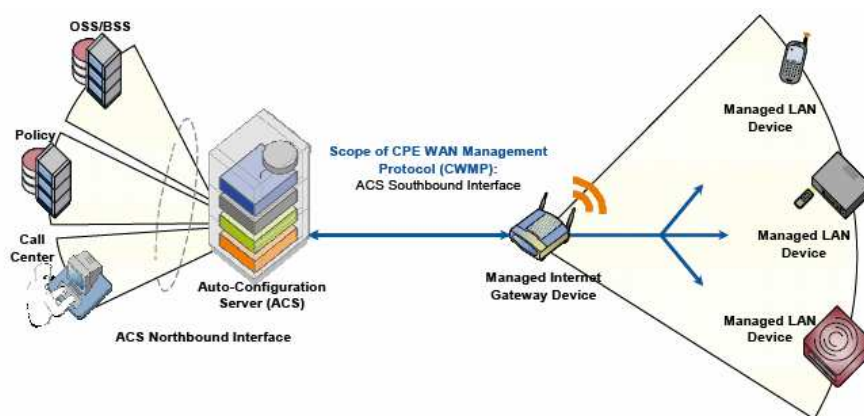


Figura 4.4 - O âmbito do protocolo definido no TR-069 é a definição de mecanismos que permitam a interacção remota entre um ACS e os CPE, garantindo o aprovisionamento, o diagnóstico, a gestão e a actualização dos equipamentos (SW e firmware), de forma segura^[44].

A estrutura definida para o TR-069 considerou 4 componentes funcionais para a interacção ACS-CPE:

1. Auto-configuração e aprovisionamento: Este processo permite ao ACS configurar remotamente um ou vários CPE (com base em critérios pré-estabelecidos), evitando a deslocação de equipas técnicas ao local de instalação ou exigindo conhecimentos técnicos dos clientes.

O processo de auto-configuração e aprovisionamento dos CPE pode ser despoletado na primeira ligação do equipamento à rede, ou sempre que justificável (processo controlado pelo ACS) para permitir a actualização periódica dos equipamentos.

2. Actualização de Software/Firmware: O protocolo CWMP permite a gestão integrada de versões de *Software/Firmware*, o que é uma vantagem da solução pois garante a actualização dos equipamentos sem que seja necessário intervenção humana. Neste processo o ACS disponibiliza aos CPE (para download) versões actualizadas de *Software/Firmware* que, depois de obtidas, serão instaladas pelos próprios CPE. Por questões de segurança é possível definir pacotes assinados digitalmente, para garantir que apenas versões disponibilizadas pelo operador (ACS) são instaladas pelos CPE.
3. Monitorização: Através desta componente os CPE podem informar o ACS sobre o seu estado e performance para geração de relatórios estatísticos. Com o recurso a este processo é possível aos CPE informarem o ACS sempre que ocorram alterações no seu estado, para que possa ser tomada acção correctiva (caso haja necessidade para tal).
4. Diagnóstico: Este protocolo permite ainda aos CPE a disponibilização de informação ao ACS para que este tenha a capacidade de diagnosticar e/ou resolver questões de conectividade ou serviço, e ainda executar testes de diagnóstico pré-definidos.

As funcionalidades supra referidas são suportadas remotamente, não exigindo a deslocação de equipas técnicas, pelo que a adaptação do protocolo TR-069, como base para a gestão das femtocells, enquadra-se perfeitamente nos objectivos existentes para o processo de gestão das femtocells, apresentando os seguintes proveitos:

- Suporta mecanismos, amplamente testados e utilizados pelos operadores de rede fixa, na gestão, aprovisionamento, diagnóstico e actualização dos muitos milhões de CPE instalados a nível mundial.
- Garante a gestão, indiferenciada, de equipamentos de diferentes fabricantes, garantindo a independência dos operadores face aos fornecedores de CPE.
- Permite suportar o conceito de *plug-and-play*, admitindo que as femtocells sejam instaladas pelos próprios clientes.

4.3 - Integração das femtocells na rede

Com já foi referido, as femtocells foram desenvolvidas com o principal objectivo de colmatar os problemas de cobertura observados em ambientes *indoor*, pelo que na grande maioria das situações serão instaladas no interior de edifícios, locais onde tipicamente os operadores não terão acesso.

O sucesso das femtocells dependerá, em grande medida, das ofertas comerciais que venham a ser definidas^[63], pelo que resta aos operadores o exercício de estimarem a quantidade destes equipamentos que terão de gerir remotamente. Em todo o caso, as previsões e notícias que vão sendo conhecidas apontam para que as femtocells venham a gozar de algum sucesso junto dos clientes, e desta forma têm de ser definidas antecipadamente as condições que permitirão a integração pacífica das femtocells nas redes dos operadores de rede móvel.

Como se sabe, as redes Macro estão em constante evolução (respondendo aos desafios de melhoria contínua de cobertura e de evolução tecnológica), exigindo das equipas de planeamento de rede a definição cíclica das configurações aplicáveis a cada célula que as constituem (células vizinhas, portadoras, *Scrambling Codes*, listas de *handovers* permitidos, potências de emissão, ...).

Com a introdução das femtocells nas suas redes, os operadores passarão a ter de garantir que as alterações realizadas ao nível da rede Macro também são reflectidas nas femtocells, para garantir o correcto funcionamento das mesmas e minimizar os efeitos de interferência (Macro ↔ Femto e Femto ↔ Femto).

Para além das questões relacionadas com a gestão de interferências, a integração das femtocells nas redes dos operadores terá também de ter em consideração as questões de âmbito regulamentar a que estes estão obrigados. Factores como o suporte de localização, a gestão/utilização das frequências atribuídas pelos reguladores, a garantia da qualidade dos serviços prestados ou a comunicação dos planos de evolução da rede terão de ser cuidadosamente analisados antes que possa ser definida uma oferta comercial baseada em femtocells.

Neste ponto apresentaremos possíveis soluções para os desafios que se colocam aos operadores de rede móvel no *deployment* das femtocells.

4.3.1 - Relação com os operadores fixos/ISP

A implementação de soluções baseadas em femtocells não deverá constituir um problema para os operadores integrados (os que têm simultaneamente operações fixas e móveis), pois estes possuem recursos/licenças que lhes permitem definir uma oferta *end-to-end* e desta forma garantir a QoS dos serviços prestados.

Para os operadores que apenas possuem licença do regulador para operação móvel, esta tecnologia apresenta alguns desafios na definição da oferta, relacionados com a regulação vigente. No capítulo 2 (Regulação) é referido que é obrigação dos operadores de telecomunicações garantir a segurança das suas redes, o acesso indiscriminado às mesmas e a qualidade dos serviços prestados aos seus clientes.

Como se sabe, a interligação das femtocells com o *core* das redes dos operadores móveis irá recorrer a acessos BL fixos. Pretende-se utilizar os acessos BL que os clientes já possuam pois, por um lado é uma das formas de reduzir o *opex* da solução e por outro permite

alavancar a comercialização da futura oferta em algo que os clientes já têm instalado em suas casas. A utilização de um acesso BL, já instalado, contratado pelo cliente, terá de ser avaliada e em princípio, aplicar-se-á um dos seguintes cenários:

1. Caso o acesso instalado seja prestado pelo operador que fornece a femtocell, a instalação desta pode fazer-se sem restrições, mas terá de se realizar aditamento ao contrato de prestação do serviço BL, para que sejam actualizadas as condições de prestação desse serviço (a largura de banda do acesso BL será partilhada pelo cliente e pela femtocell).
2. Caso o acesso BL instalado seja prestado por outro operador, é possível solicitar a desagregação do lacete do cliente e, depois do operador instalar o seu próprio acesso BL, colocar ao serviço a femtocell (também neste caso terão de estar reflectidas nos contratos a firmar com o cliente as condições de prestação do serviço BL fixa).
3. O operador de rede fixa constitui-se MVNO de operador de rede móvel e comercializa as femtocells utilizando um *branding* próprio. Neste caso é o operador de rede fixa que fornece o serviço BL e o “serviço” femtocell.
4. O operador de rede móvel poderá contratar um acesso BL a um operador de rede fixa para instalação da sua femtocell. O cliente manterá o acesso BL já contratado a outro operador para suporte das suas comunicações.
5. O operador de rede móvel estabelece parceria com operador de rede fixa para prestação de serviços suportados em femtocells. Nesta parceria, o operador de rede fixa permitirá ao operador de rede móvel utilizar a sua rede para transporte de tráfego entre os dois elementos da sua rede (Femtocell ↔ Femto GW).

Nas opções 1 e 2 (solução típica de operador com licença de operação fixa e móvel) o operador que disponibiliza o serviço é totalmente responsável pelos elementos que constituem a solução, pelo que não se deverão colocar questões relacionadas com a QoS dos serviços prestados - uma vez que o próprio poderá e deverá definir políticas na sua rede IP para que o tráfego de voz e vídeo gerado na femtocell tenha prioridade sobre todo o tráfego de dados cursado sobre o acesso BL.

A opção 3, do ponto de vista dos operadores de rede móvel, não fará sentido pois exigirá que os clientes que queiram usufruir do “serviço” femtocell tenham de firmar contrato com o MVNO. Apesar de ser uma solução tecnicamente e regulamentarmente viável, não é de crer que este cenário venha a ser implementado. Caso venha a ser adoptado por algum operador, este cenário terá as mesmas características que os cenários 1 e 2.

As opções 4 e 5 apresentarão desafios idênticos do ponto de vista da relação entre operadores, sendo a grande diferença entre elas o facto de no cenário 4 se prever a instalação de um circuito BL especificamente para suporte da femtocell (que do ponto de vista da oferta não parece fazer grande sentido, mas que permite também ultrapassar a

questão de o acesso BL ser partilhado para suporte do tráfego gerado pelo cliente e para suporte do tráfego da femtocell - tráfego do operador móvel).

Tendo em consideração o atrás exposto, o cenário 5 será aquele que maior atenção exigirá dos operadores na definição das suas ofertas, pelo que tentarei descrever uma potencial solução para mitigar as dificuldades de cumprimento dos requisitos definidos na regulação vigente.

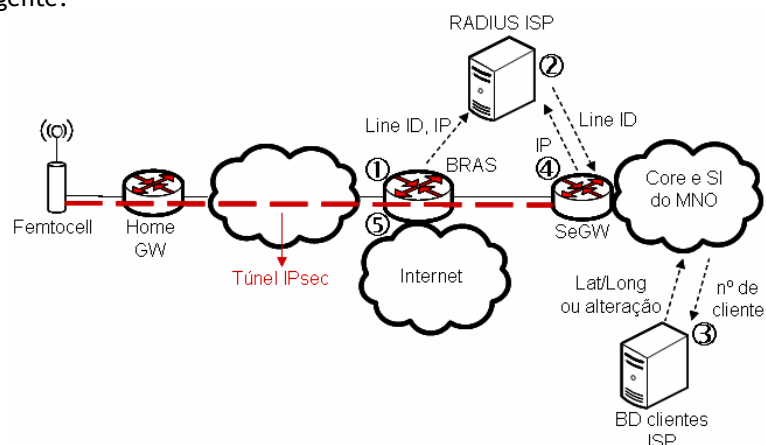


Figura 4.5 - Identificação das interações que terão de ocorrer entre o operador de rede móvel e o operador de rede fixa para que seja possível cumprir os requisitos exigidos pela regulação vigente, na definição de uma oferta baseada em femtocells.

Como referido no capítulo 2 (regulação), as femtocells socorrer-se-ão de túneis IPsec para garantirem a integridade do tráfego que cursará sobre a rede IP pública. Para que o estabelecimento dos túneis IPsec seja possível, as femtocells serão pré-configuradas com o endereço IP da SeGW, que será o elemento da solução responsável pela securização da mesma.

Tendo por base esta premissa, passarei a descrever as interações que existirão entre os elementos da rede do operador de rede fixa e os elementos da rede do operador de rede móvel, para que seja possível respeitar a regulação vigente.

Por defeito o ISP bloqueará nos seus BRAS todo o tráfego IPsec que tenha como destino o endereço IP da SeGW (a definição desta regra implica que a colocação em serviço das femtocells exige a troca de informação entre o operador de rede móvel - que comercializa as femtocells - e o operador de rede fixa - que disponibiliza os acessos BL essenciais ao funcionamento da solução).

Quando um cliente contrata “serviço” femtocell ao operador de rede móvel, este (com base na informação que lhe é fornecida pelo cliente - identificação do serviço BL) solicita ao operador de rede fixa que remova a regra que impede a realização de tráfego IPsec entre a femtocell e a sua SeGW - operação que terá de ser realizada para que femtocell consiga registar-se na rede do operador de rede móvel. ①

Após a execução da alteração supra identificada, o cliente despoleta o processo de “arranque” da sua femtocell - esta vai registar-se na rede do operador de rede móvel a que pertence e obter a configuração que lhe permitirá entrar em serviço.

No processo de registo da femtocell, a SeGW vai interagir com o RADIUS server do operador de rede fixa para obter o Line ID do acesso em que a femtocell está instalada. Para o efeito, utilizará o endereço IP atribuído à Home GW (o BRAS fornece ao RADIUS ISP a relação IP ↔ Line ID de todas as sessões, pois é informação que obrigatoriamente os ISP têm de manter). ②

Em seguida o operador de rede móvel terá de confirmar a morada de instalação da femtocell e para o efeito terá de ser permitido o acesso à BD de clientes do ISP. Com base no número atribuído ao acesso (informação que é prestada pelo cliente), o operador de rede móvel irá obter a sua morada de instalação e as coordenadas geográficas (Latitude/Longitude) da mesma. ③

A informação obtida (Line ID, morada e coordenadas geográficas da instalação) é registada pelo operador de rede móvel na sua BD de planeamento celular. Esta informação, para além de ser utilizada no suporte da localização das chamadas originadas nas femtocells com destino a serviços que exijam localização (e.g. 112), também servirá para suporte do processo registo de femtocells na rede, altura em que o operador de rede móvel será forçado a confirmar a localização de instalação da femtocell (caso cliente mude a femtocell de local, a informação obtida não coincidirá com a que está registada na BD de planeamento celular e o seu registo na rede não será permitido, ou caso sejam desenvolvidos mecanismos pelos operadores que permitam a alteração de localização das femtocells de localização, toda a informação de localização terá de ser actualizada na BD de planeamento celular). ④

Como o tráfego que é gerado na femtocell será taxado pelo operador de rede móvel, têm de ser definidas regras/políticas na rede que permitam diferenciar a taxaço deste tráfego. Não faz sentido que o cliente seja taxado duas vezes pelo mesmo tráfego (uma pelo de rede fixa - que debita o tráfego cursado sobre o acesso BL - e outra pelo operador de rede móvel - que factura o tráfego realizado na femtocell). Para fazer face a este cenário, o operador de rede fixa deverá implementar regras/políticas nos seus BRAS que permitam o tratamento diferenciado do tráfego IPsec originado pelo cliente com destino ao endereço IP da SeGW. ⑤

Como para a implementação deste cenário o operador de rede móvel terá de solicitar o suporte do operador de rede fixa, é natural que nestas situações venham a ser definidas ofertas conjuntas Fixo/Móvel. No âmbito destas ofertas terão de ser detalhadas as responsabilidades de cada um dos intervenientes e as características do serviço (nomeadamente o tipo de acesso BL que terá de existir para que os serviços prestados na femtocell tenham a QoS adequada, as políticas de priorização de tráfego a implementar, ou a partilha de receitas).

4.3.2 - Impacto das femtocells na rede Macro

A integração das femtocells na rede de um operador obrigará a uma abordagem completamente distinta da que é aplicável às células da rede Macro. A introdução prevista de vários milhares de femtocells na rede, sendo as mesmas instaladas pelos próprios clientes em locais não acessíveis aos operadores, forçará a adopção de estratégias de configuração e gestão distintas das que são aplicáveis às células da rede Macro.

A coexistência da rede Femto com a rede Macro tem de ser garantida para que a QoS suportada na rede Macro, antes da entrada em exploração das novas células, não seja condicionada pela implementação da rede Femto. Não faz sentido que a intenção de melhoria da cobertura *indoor*, problema que as femtocells irão endereçar, prejudique a cobertura *outdoor* (garantida pela rede Macro) e consequentemente os serviços nela suportados.

O controlo da interferência deverá ser garantido por um conjunto de funcionalidades que as femtocells deverão suportar de base:

- Auto-configuração inicial e configuração periódica de *scrambling codes*, de frequências e de relações de vizinhança.
- Resolução dinâmica de situações de interferência grave que tenham impactos profundos na QoS dos serviços prestados. Para o efeito deverão existir alarmes específicos que despoletem o *restart* das femtocells afectadas, para que estas possam obter nova configuração e desta forma ultrapassar os problemas identificados.
- Mecanismos de *Power Control*, para controlar interferência.
- Gestão de mobilidade e *handover*.

Como se sabe, cada célula tem de um identificador unívoco (Cell ID) que permite o seu reconhecimento na rede.

Tipicamente, nas redes de menor dimensão os operadores optam por adoptar o SAC como identificador da célula (SAC = Cell ID). Contudo esta opção só é válida para as redes em que o número total de células é inferior a 65.535 ($SAC_{max} = 2^{16}-1$) - a especificação do 3GPP prevê que este campo seja constituído por 2 octetos.

Nas redes de maior dimensão, onde o número de células é superior ou próximo do limiar referido, os operadores socorrem-se do par LAC + SAC para identificar univocamente as células que as constituem.

Com a introdução das femtocells nas redes dos operadores de rede móvel, considerando as expectativas existentes, a opção de se utilizar o par LAC + SAC para identificação das células deverá ser adoptada na globalidade, passando a ser possível suportar $n \times 65.535$ células na rede, sendo n o número de LAC definidas na rede.

Apesar da opção anterior resolver o problema do número limite de SAC suportados numa rede, os operadores deverão avaliar os impactos de atribuir às femtocells a mesma “classificação” que é atribuída às células da rede Macro. Como se sabe, o limiar de células

vizinhas permitidas para configuração de uma célula 3G é 64 (32 na mesma frequência e 32 em frequências distintas). Para além dos impactos que a definição de listas de células de vizinhança de grande dimensão tem na performance da rede (processo de análise do ambiente rádio torna-se mais complexo, diminuição da qualidade dos serviços suportados ou *call drop*), em zonas com grande densidade de femtocells instaladas, os limites supra identificados poderão ser insuficientes para representar o ambiente rádio em que está inserida determinada célula. É, portanto, aconselhável que se adopte um nível de “abstracção” para a identificação das femtocells na rede.

Uma forma possível de implementar este nível de abstracção passa pela utilização de LAC e SAC específicos para identificação das femtocells na rede.

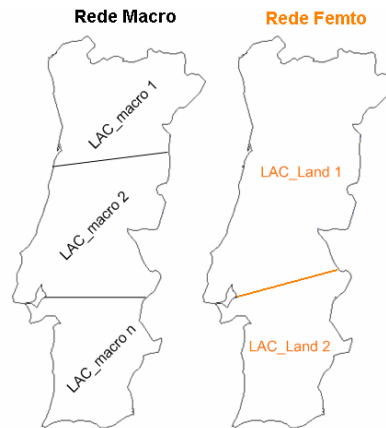


Figura 4.6 - O recurso a LAC e SAC específicos para identificação das femtocells na rede poderá ser uma opção para limitar o impacto da introdução das femtocells na rede Macro. As LAC definidas para a rede Macro e para a rede Femto não têm de coincidir, quer em número, quer em área geográfica.

As soluções de femtocells disponibilizadas prevêem este nível de abstracção, suportando parâmetros rádio que não são passados para o core da rede, mas que são utilizados pela solução Femto para identificação inequívoca das suas femtocells (LAC_Air, RAC_Air e SAC_Air).

É possível associar cada femtocell (ou conjunto de femtocells) a uma Zona, que no core tem associados parâmetros rádio específicos (LAC_Land, RAC_Land e SAC_Land). Os parâmetros LAC_Land, RAC_Land e SAC_Land serão utilizados exclusivamente na rede Femto e, à semelhança do que ocorre na rede Macro com os parâmetros LAC_Macro, RAC_Macro e SAC_Macro, identificarão univocamente a zona a que estiverem associados.

O agrupamento de várias femtocells numa única zona poderá fazer sentido em ambientes onde são instaladas mais que uma femtocell, pertencentes a uma mesma entidade (e.g. ambientes empresariais de média dimensão, que devido à área a cobrir ou ao volume de tráfego gerado exigem a instalação de várias femtocells). Nestas situações, em que o par LAC_Land + SAC_Land tem associadas várias femtocells, será possível recorrer aos parâmetros LAC_Air + SAC_Air para identificar uma femtocell na rede (estes parâmetros são um nível de abstracção previsto pelos fornecedores nas suas soluções e não são do conhecimento dos

elementos do core da rede, pelo que apenas a solução Femto terá a capacidade de identificar univocamente a femtocell.

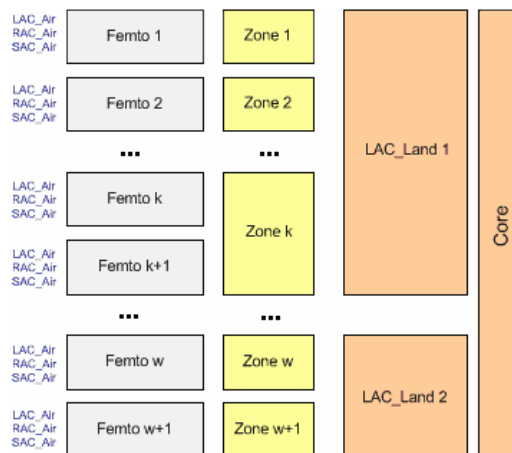


Figura 4.7 - Estrutura aplicável à rede Femto, com identificação dos parâmetros rádio específicos.

Para além da definição da estrutura da rede Femto, e da forma como esta se relaciona com a rede Macro, os operadores terão ainda de tomar decisão sobre as frequências a adoptar para implementação da mesma.

No documento “*Femtocell Interference and Frequency*”^[46], que se baseia no *TR 25.820*^[47], identificam-se vários cenários para a implementação das femtocells. Nestes estudos foram também identificados os cenários de interferência que as femtocells poderão introduzir nas redes, identificados na figura seguinte.

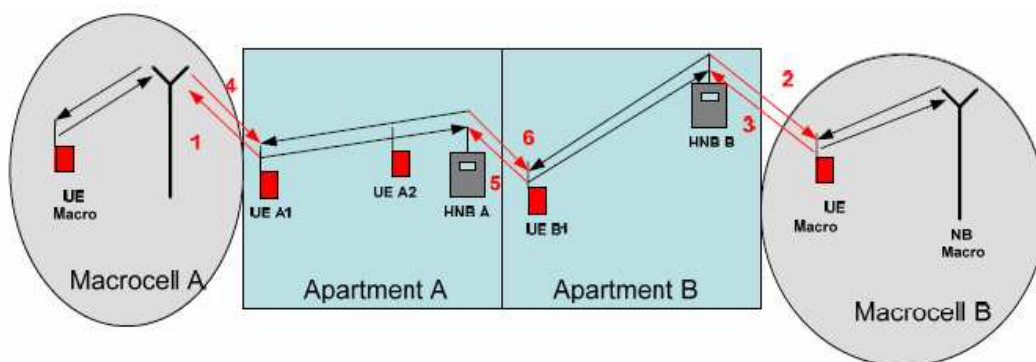


Figura 4.8 - Identificação dos cenários de interferência que se apresentam aos operadores de rede móvel, com a introdução das femtocells nas suas redes^[47].

Tabela 4.1 - Descrição dos cenários de interferência associados à introdução das femtocells na rede.

#	"Agressor"	"Vítima"	Detalhe
1	<i>UE registado em femtocell</i>	<i>Uplink de macrocell</i>	A potência de emissão de um UE registado numa femtocell tem impacto no <i>uplink</i> da macrocell que cobre a área onde o terminal se encontra. As estratégias identificadas para mitigar este tipo de interferência passam pela utilização de frequências distintas para implementação da rede Femto e pela implementação de limites máximos de emissão para os terminais registados nas femtocells.
2	<i>Femtocell</i>	<i>Downlink de macrocell</i>	A potência de emissão de uma femtocell interfere com o sinal captado por um UE registado na rede Macro. Este cenário de interferência poderá ser mitigado com a implementação de limites para a potência de emissão das femtocells e pela utilização de frequências distintas para a rede Femto
3	<i>UE registado em macrocell</i>	<i>Uplink de femtocell</i>	Como descrito no cenário 1, existe a necessidade de controlar a potência máxima de emissão dos UE registados na rede Femto (para mitigar os efeitos que estes poderão ter na rede Macro). Devido a esta questão, o <i>uplink</i> das femtocells é particularmente susceptível a interferências de UE registados na rede Macro. A actuação sobre este cenário de interferência é de particular dificuldade, pois terá de ser encontrado um cenário de compromisso entre a potência de emissão dos UE registados nas femtocells e a sensibilidade do receptor a interferências induzidas por UE registados na rede Macro.
4	<i>Macrocell</i>	<i>Downlink de femtocell</i>	Este cenário está relacionado com a potência de emissão das femtocells. Como para evitar o impacto das femtocells na rede Macro se propõe a implementação de limites de potência de emissão para as femtocells, poderão ocorrer situações em que as macrocells afectam a cobertura das femtocells. Uma vez mais, terá de ser encontrada solução de compromisso que permita às femtocells desempenhar as funções para as quais são adquiridas, mas sem que estas afectem a qualidade da rede Macro.
5	<i>UE registado em femtocell</i>	<i>Uplink de femtocell</i>	Os cenários 5 e 6 só se deverão colocar em áreas com elevado número de femtocells instaladas e quando haja uma reutilização de frequências muito frequente. A única forma eficaz de responder a estes cenários de interferência é através da adopção de estratégias de configuração de rede rádio adaptadas à realidade do ambiente onde as femtocells serão instaladas.
6	<i>Femtocell</i>	<i>Downlink de femtocell</i>	

É possível constatar, pela análise dos documentos elaborados pelo *3GPP* e pela *GSM Association*, que a opção de utilização frequências específicas (diferentes das que são utilizadas na rede Macro) para implementação da rede Femto e a adopção de mecanismos eficientes de controlo de potência serão os factores que melhor permitirão aos operadores lidar com os potenciais efeitos adversos da introdução das femtocells na rede (leia-se fenómenos de interferência com a rede macro).

Como referido, as femtocells deverão ter a capacidade de se auto-configurarem, ficando totalmente operacionais sem a necessidade de intervenção humana. Este processo deverá seguir um fluxo específico, que se identifica em seguida:

- A célula autenticar-se-á na rede do operador móvel a que pertence e receberá do HNB Manager a configuração necessária ao seu funcionamento:
 1. Gama de frequências e *Scrambling Codes* (em função do ambiente rádio a femtocell escolherá o par frequência/*Scrambling Code* aplicável e comunicará a informação ao HNB Manager).
 2. Potência dos canais comuns e potência máxima de transmissão.
 3. Relação de vizinhança com femtocells vizinhas (é suportado o *handover* bidireccional) e com células da rede Macro (apenas é suportado *handover* de chamadas no sentido rede Femto → rede Macro).

4. Coordenadas de localização da femtocell.
 5. Lista de utilizadores que podem registar-se na femtocell (no caso da femtocell ser configurada em modo “fechado”)
- Após conclusão do processo de configuração a femtocell deverá ficar operacional e permitir a realização de tráfego pelos clientes que nela se registem.

Periodicamente as femtocells deverão avaliar o ambiente rádio em que estão inseridas para garantir que o par Frequência/*Scrambling Code* é o mais adequado em termos de qualidade e de interferência, pois a instalação de novas femtocells na mesma zona ou a realização de alterações na rede Macro poderão levar a que a configuração inicial da femtocell deixe de ser a mais adequada ao ambiente em que esta está inserida.

No ponto seguinte será identificado um cenário que poderá ser aplicado pelos operadores no *deployment* das femtocells nas suas redes.

4.3.3 - Configuração da femtocell e suporte de localização

Um dos objectivos das femtocells passa pela possibilidade dos seus clientes poderem proceder à sua instalação. Esta característica apesar de constituir uma mais-valia da solução, pois permite redução do *opex* associado à deslocação de técnicos especializados para a sua instalação, constitui simultaneamente um risco, pois os operadores deixarão de ter um controlo efectivo sobre o processo de *deployment* da sua rede.

Como visto no capítulo 2 (Regulação), existe a necessidade dos operadores de rede móvel respeitarem as exigências impostas de qualidade dos serviços prestados e na disponibilização de funcionalidades específicas para suporte de alguns serviços (e.g. suporte de localização de chamadas com destino ao número único de emergência europeu 112) - para além das questões de segurança e saúde associadas aos campos electromagnéticos gerados pelas femtocells, que têm de ser cumpridas pelos fabricantes dos equipamentos.

Para responder a estes requisitos, os operadores desenvolveram sistemas internos que lhes permitem armazenar a informação necessária ao processo de planeamento de rede (garantia da qualidade dos serviços prestados) e à identificação de qualquer chamada que seja realizada nas suas rede. Tipicamente os operadores de rede móvel mantêm actualizada uma BD de planeamento celular onde registam toda a informação relativa aos elementos que compõem a sua rede (Cell ID, LAC, RAC, SAC, morada e coordenadas geográficas de instalação da célula, raio da mesma, frequências e *Scrambling Codes* usados, ...).

Com a disponibilização de equipamentos (femtocells) que se pretende que sejam instalados pelos clientes, o processo de actualização desta BD terá de ser adaptado para que a informação coligida não se baseie exclusivamente na que é prestada pelos clientes aquando da assinatura do contrato.

Na BD de planeamento celular cada célula da rede macro tem a sua identificação unívoca (Cell ID) e esta relação deverá manter-se mesmo após a introdução das femtocells na rede, pelo que os operadores que não o façam deverão passar a utilizar o para LAC + SAC para

identificação das suas células de rede (uma vez que as 65.535 células suportadas pelo SAC deixarão de ser suficientes).

Tendo em consideração que o operador não sabe efectivamente onde é que as suas femtocells serão instaladas existirá a necessidade de definir processos que permitam identificar essa localização de forma automática para que seja possível atribuir à femtocell a configuração mais adequada ao ambiente que a rodeia. Para o efeito, poderá ser implementado um processo de registo e configuração semelhante ao que se descreve no fluxo seguinte²:

- Cliente instala femtocell no acesso BL comunicado no contrato e despoleta o processo de registo e configuração da mesma.
- A femtocell, na interacção com a SeGW passará o endereço IP atribuído ao acesso ao qual está ligada. Com base neste endereço IP, a SeGW vai obter o Line ID do acesso através de uma consulta ao Radius do ISP.
- Através de consulta à BD de clientes, utilizando o Line ID como chave, obter-se-á a morada e as coordenadas geográficas de instalação do acesso BL.
- A morada será utilizada pelos SI do operador de rede móvel para validação dos dados inseridos pelo cliente no contrato.
- As coordenadas geográficas, através de consulta a BD de planeamento celular, permitirão obter as células macro (LAC_Macro + SAC_Macro) existentes na vizinhança do local de instalação da femtocell.
- Com recurso a mecanismos de triangulação identifica-se o LAC_Macro que abrange a zona onde a femtocell irá operar, e a partir de consulta à tabela da BD de planeamento celular, será possível obter o LAC_Land, o RAC_Land e o SAC_Land que serão atribuídos à femtocell (conforme referido no ponto 4.3.2, o par LAC_Land + SAC_Land definem uma zona, que pode conter uma ou mais femtocells).
- A informação obtida neste processo (LAC_Land, RAC_Land, SAC_Land, Line ID, morada e coordenadas geográficas de instalação da femtocell) será utilizada para actualização da BD de planeamento celular (a partir deste instante será possível obter localização das chamadas originadas na femtocell).
- Depois de reunida toda a informação da localização, relações de vizinhança e atributos da nova femtocell o HNB Manager passará à femtocell a sua configuração, sendo responsabilidade desta escolher o par frequência/*Scrambling Code* adequados ao ambiente rádio onde esta se insere. De seguida a femtocell comunicará à plataforma de gestão configuração adoptada.

² Para que a implementação do fluxo descrito seja possível é necessário que o operador de rede móvel/ISP faculte alguma informação ao operador de rede móvel (Line ID, morada e coordenadas geográficas do local de instalação da femtocell).

A femtocell utilizará os parâmetros LAC_Air, RAC_Air e SAC_Air na difusão rádio, que não serão passados ao core da rede (sendo substituídos por LAC_Land, RAC_Land, SAC_Land). Quando ao core chegar informação XXX_Land, este saberá que se trata de uma femtocell e interagirá com o sistema de gestão das femtocells, sendo responsabilidade deste último o mapeamento entre parâmetros XXX_Land e parâmetros XXX_Air.

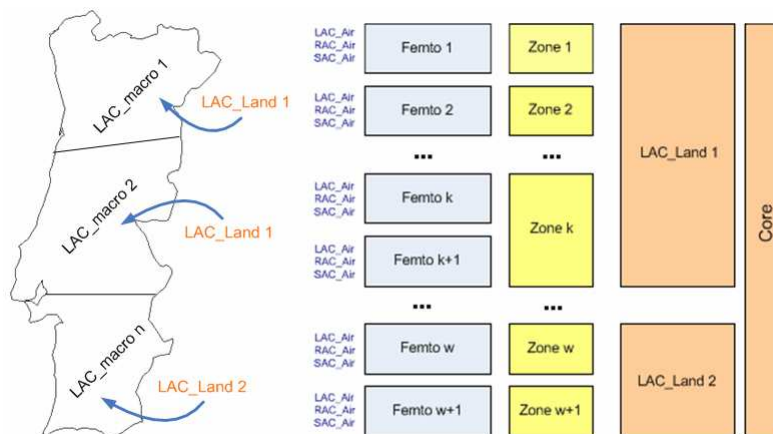


Figura 4.9 - Para que seja possível implementar solução baseada em femtocells, existirá a necessidade de esconder a arquitetura Femto da rede Macro, recorrendo-se a níveis de abstracção para o efeito. Estes níveis não são do conhecimento da rede Macro, mas permitem a identificação unívoca das femtocells na rede.

4.3.4 - Frequências a *Scrambling Codes*

Conforme referido, a opção de adoptar-se gama de frequências específicas para a implementação da rede Femto permite ultrapassar muitos dos problemas relacionados com a interferência rede Femto ↔ rede Macro. Esta opção, associada à reserva de *Scrambling Codes* específicos para utilização na rede Femto, permite aos operadores garantir alguma independência entre as redes e em consequência prestar serviços com melhor qualidade.

Esta opção tem “custos”, pois tanto as frequências (atribuídas pelo regulador - identificadas em 3.2), como os *Scrambling Codes* (512 códigos) são recursos escassos e que terão de ser “desviados” da rede Macro para suporte da rede Femto.

Numa fase inicial, enquanto o número de femtocells não atinge limiares críticos, será possível reservar frequências e *Scrambling Codes* específicos para suporte das femtocells, mas com a massificação da tecnologia e disponibilização da mesma ao *mass-market*, os operadores deixarão de conseguir garantir estes recursos e atempadamente terão de avaliar-se os impactos da operação das duas redes (Macro/Femto) nas mesmas frequências.

4.3.5 - Sinalização associada ao estabelecimento de chamada CS e PDP

Neste ponto apresentam-se os fluxos associados à troca de mensagens entre os elementos de rede envolvidos no estabelecimento de ligações CS e PS.

Considerando que as femtocells são implementadas sobre protocolos normalizados já suportados pelas rede móveis, os fluxos serão idênticos aos aplicáveis às chamadas originadas

entre utilizadores que não se encontrem registados em femtocells, uma vez que a AG da arquitectura femtocell desempenha funções similares às que são suportadas pelos RNC.

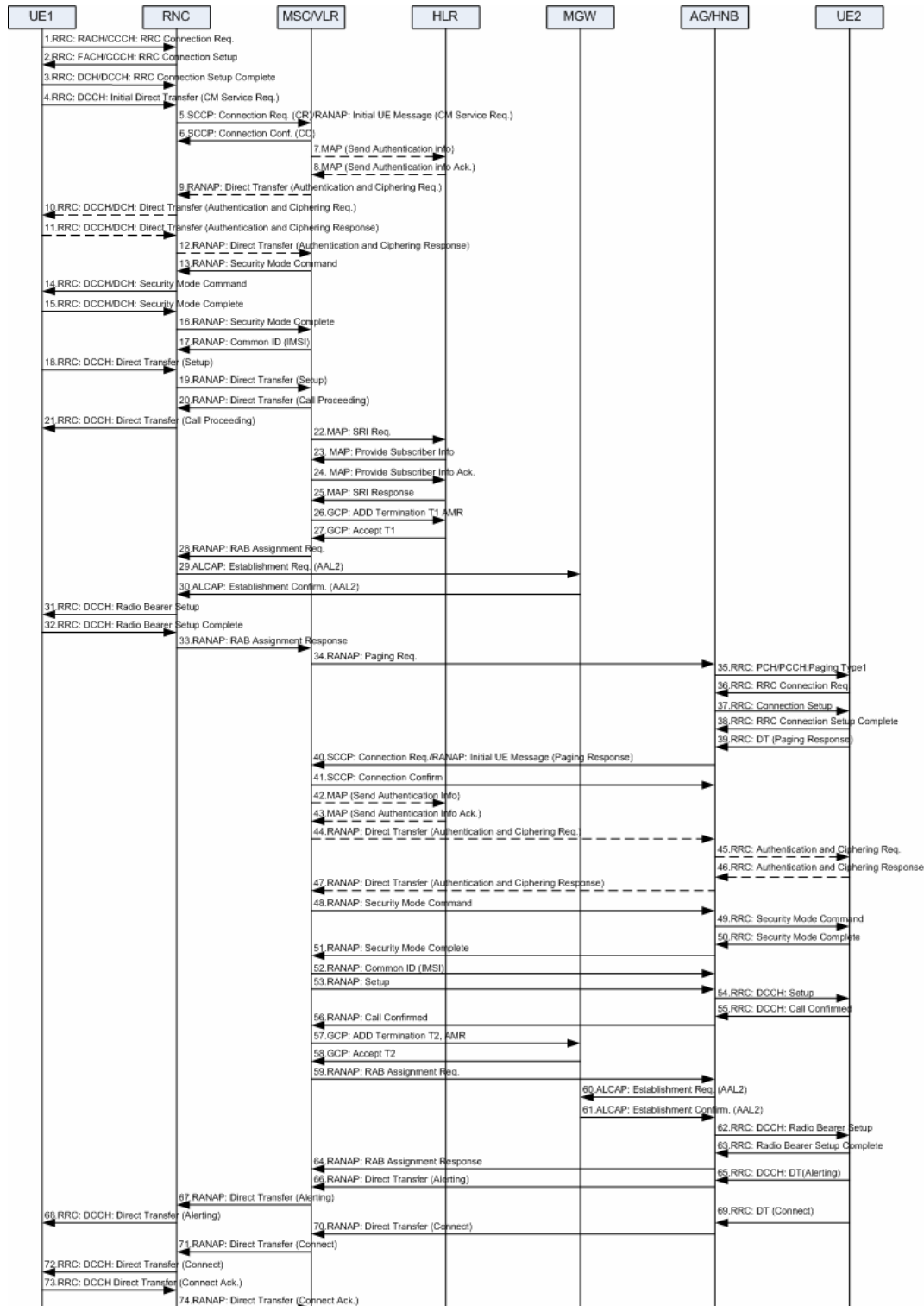


Figura 4.10 - Fluxo de estabelecimento de chamada de voz entre terminais 3G (receptor em idle mode).

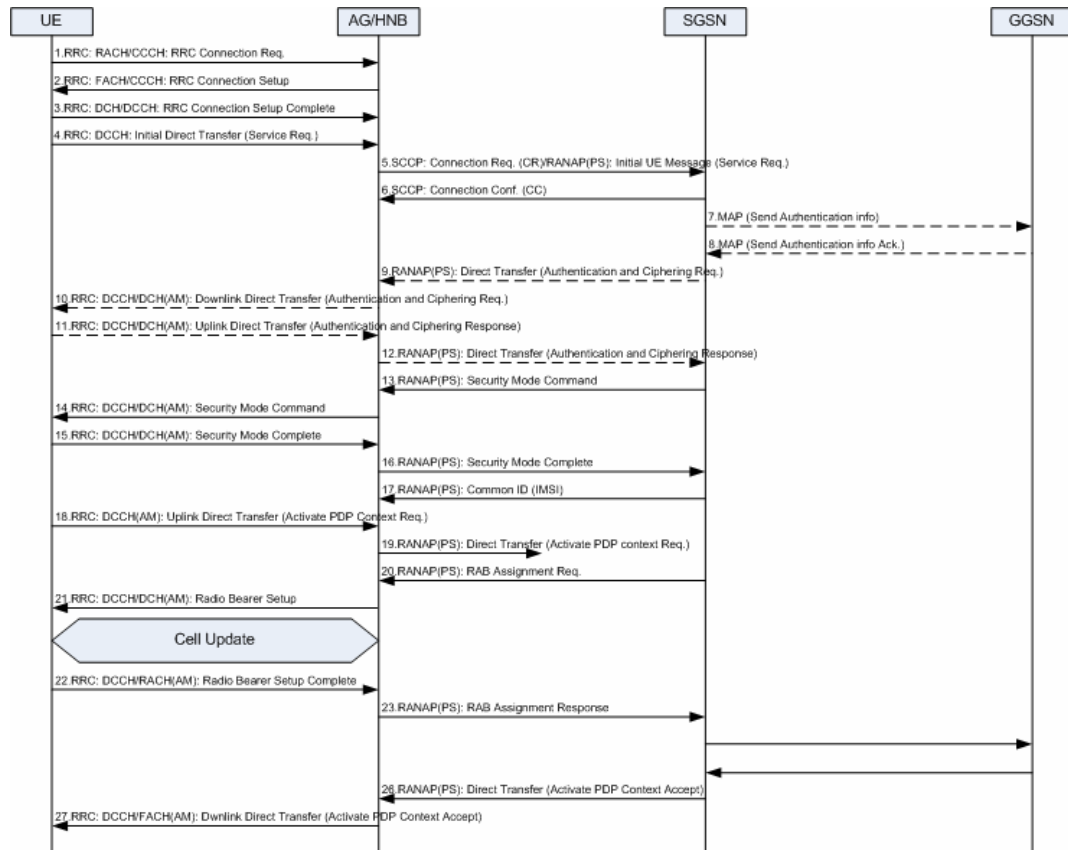


Figura 4.11 - Processo de activação de contexto PDP para utilizador registado numa femtocell.

Capítulo 5

Novos serviços

As femtocells garantirão exactamente os mesmos serviços que as células da rede Macro suportam (voz, dados e *messaging*), pelo que o conceito de “novo serviço” aplicar-se-á forçosamente na definição de soluções que utilizem os serviços actualmente disponíveis mas que, devido às características intrínsecas das femtocells, podem ser oferecidos de forma diferenciada/inovadora.

Suportado nos adventos FMC e FMS, os operadores de rede móvel têm vindo a realizar alterações constantes nas suas redes tendo em vista a melhoria de cobertura e da qualidade dos serviços prestados.

Os ambientes *indoor*, onde entre 30% e 40% de todo o tráfego é gerado, são de particular importância para os operadores, pois para além de serem os cenários onde se observam maiores deficiências, são aqueles em que os operadores de rede móvel têm de se apresentar como alternativa efectiva aos operadores de rede fixa.

Factores como disponibilidade, performance ou qualidade de serviço em ambientes *indoor* têm de ser características dos serviços dos operadores de rede móvel, para que estes possam constituir-se como real alternativa aos operadores de rede fixa e, desta forma, fomentar a substituição dos serviços fixos por serviços móveis. No entanto, a melhoria de cobertura não deverá ser única motivação para o investimento nas femtocells, pois, como se sabe, as margens obtidas com a prestação dos serviços de voz têm vindo a decair à medida que os tarifários oferecidos pelos operadores de rede móvel se aproximam dos tarifários disponibilizados pelos operadores de rede fixa.

5.1 - Aplicabilidade das femtocells

Segundo estudos realizados por várias consultoras, o investimento em soluções baseadas em femtocells terá de ser suportado em *business cases* que se foquem na identificação de novas fontes de receitas, tipicamente soluções que permitam disponibilizar serviços

multimédia agregados em ofertas *triple/quadruple play*. Estas ofertas, apesar de não representarem, pelo menos directamente, novas oportunidades de negócio, têm demonstrado a capacidade de fidelizar os clientes e de reduzir a taxa de *churn*, um dos grandes temas com que os operadores, principalmente os operadores de rede móvel, têm de se debater.

Paralelamente, alguns dos estudos apresentados referem que, o serviço *Mobile TV* - onde operadores têm vindo a investir e que até à data não teve um retorno que justifique o investimento realizado - poderá ter nas femtocells um grande aliado para o seu efectivo *roll-out*. Tem-se como objectivo que, com a implementação das femtocells e a definição de ofertas *triple/quadruple play*, os clientes criem hábitos de consumo quando se encontram registados nas suas femtocells (onde tráfego realizado será gratuito ou terá custos muito reduzidos) e que transportem esses hábitos para a rede Macro, onde o tráfego realizado é taxado de acordo com o tarifário base dos clientes.

Pelo que se observa, nas ofertas disponibilizadas internacionalmente, os operadores têm-se focado exclusivamente na melhoria de cobertura *indoor*. Tipicamente estas ofertas prevêm que os clientes paguem uma mensalidade pela utilização das femtocells, estando nela incluído todo o tráfego realizado pelos clientes na área de influência da sua femtocell.

Em alguns fóruns da Internet esta opção tem vindo a ser discutida e, pela análise dos comentários apresentados, torna-se claro que uma percentagem significativa dos consumidores entende que não deve suportar o custo da melhoria da qualidade de rede, sendo esta uma responsabilidade do operador que lhes fornece os serviços (isto apesar de nas ofertas disponíveis comercialmente o custo apresentado contemplar a utilização, sem restrições ou custos adicionais, dos serviços disponibilizados quando clientes estejam registados nas suas femtocells). Estas posições devem ser consideradas pelos operadores que ponderem o lançamento de ofertas comerciais baseadas em femtocells, para que efectivamente estas não sejam “comercializadas” como um mero equipamento de rede, mas como uma solução que permite disponibilizar serviços inovadores, que vão ao encontro das necessidades actuais (e futuras) dos clientes.

O cenário que se observará a nível nacional deverá seguir a tendência registada nos mercados internacionais, com os operadores a lançar as primeiras ofertas comerciais com características semelhantes às já observadas em outros mercados, contudo, com a evolução da tecnologia e com a definição de novas aplicações focadas nas virtudes das femtocells, é praticamente certo que num curto espaço de tempo surgirão serviços mais atractivos, deixando para segundo plano o tema “cobertura”.

De entre as opções que começam a ser faladas pela indústria destacam-se:

- Número Fixo Virtual - esta opção prevê a existência de um número virtual atribuído à femtocell, que, quando “chamado”, faz tocar todos os terminais registados na mesma. Esta solução permite emular o tradicional número fixo, garantindo a

existência de um número único de contacto quando clientes se encontrem na sua femtocell.

- “Controlo de acessos” - Esta aplicação prevê o envio de uma mensagem de alerta sempre que um MSISDN entre ou saia da área de influência de uma femtocell. Esta aplicação poderá ter particular interesse para os encarregados de educação que não tenham a possibilidade de acompanhar os horários dos seus filhos pessoalmente e que desta forma conseguirão, pelo menos, ter percepção dos horários de saída e entrada.
- Actualização de perfil - Com base na informação da célula onde o terminal está registado será possível saber a localização do cliente e em consequência identificar o estado aplicável ao mesmo (@Home, @Office, ...). Com o recurso a estes dados será possível definir aplicações com os mais variados comportamentos. Neste momento são já discutidos os seguintes cenários:
 1. Os serviços/aplicações Web 2.0 (*MySpace, Twitter, Facebook, Hi5, Blogger, ...*) têm vindo a assumir importância crescente nas vidas das pessoas. Grande parte destes serviços/aplicações permite aos utilizadores definirem o seu estado, para conhecimento dos elementos das suas redes sociais.
Com a adopção das femtocells, passará a ser possível, com elevado grau de certeza, identificar quando os utilizadores se encontram em casa ou no escritório (ou, eventualmente, em outros locais cobertos por femtocells), sendo possível actualizar automaticamente o perfil dos clientes nos serviços/aplicações que disponibilizem esta informação nos seus portais. Esta integração permitirá uma actualização em tempo real da informação disponibilizada.



Figura 5.1 - As femtocells poderão potenciar o desenvolvimento de novas aplicações para serviços WEB 2.0.

2. As femtocells pretendem colmatar os problemas de cobertura *indoor* dos operadores de rede móvel e permitirão disponibilizar, nestes ambientes, recursos que garantirão elevada qualidade dos serviços.

Com base nesta premissa a *Intrinsyc Software International, Inc.* (um dos principais *developers* de soluções de SW para terminais móveis) e a *Ubiquisys* (um dos fornecedores de vanguarda de femtocells 3G) desenvolveram uma aplicação que permite aos terminais móveis, com sistema operativo *Android*, adaptarem as suas interfaces de utilizador ao meio onde se encontram.

Esta aplicação, designada por *UX-Zone*, para além de possibilitar a alteração da interface de utilizador dos UE suportados, permite que nesta sejam apresentados ícones de aplicações específicas para utilização *indoor* (na femtocell), que tiram partido da elevada largura de banda disponível e do “estado” do utilizador.



Figura 5.2 - Exemplos de interfaces suportadas pela aplicação UX-Zone.

O processo de transição entre interfaces é executado automaticamente pela aplicação, com base em *triggers* suportados pelas próprias femtocells, pelo que não existe qualquer necessidade de intervenção do utilizador. Este comportamento garante que o tema e as aplicações disponibilizadas em cada instante sejam sempre os mais adequados à localização do terminal.

- *Virtual Fridge Notes/Reminders* - Este serviço baseia-se numa aplicação já disponível no Facebook, e permitirá o envio de mensagens em diferido, isto é, passará a ser possível identificar que determinada mensagem só deve ser entregue quando a pessoa a contactar se registe numa determinada zona (delimitada pela área de cobertura de uma femtocell - seja no escritório, em casa, no cinema, ... - que define o perfil/estado aplicável à pessoa com quem se pretende interagir).

No YouTube pode ser encontrada uma *demonstração desta aplicação*^[48], realizada pela ip.access^[49] em colaboração com o Femto Forum^[11].

5.2 - Femtocells e a *Long Term Evolution*

Para além do potencial que as femtocells têm de permitir o desenvolvimento de novas aplicações (viabilizando a definição de novos modelos de negócio e fontes de receita), elas são também vistas como uma das bases para a evolução das redes móveis em direcção à 4ª geração (também designada de LTE).

As redes LTE deverão ser suportadas na banda de frequência dos 2,6 GHz, com canais de 20 MHz e recorrerão à modulação OFDMA. As redes LTE suportarão débitos máximos de downlink na ordem dos 300 Mbps (e de uplink na ordem dos 50 Mbps).

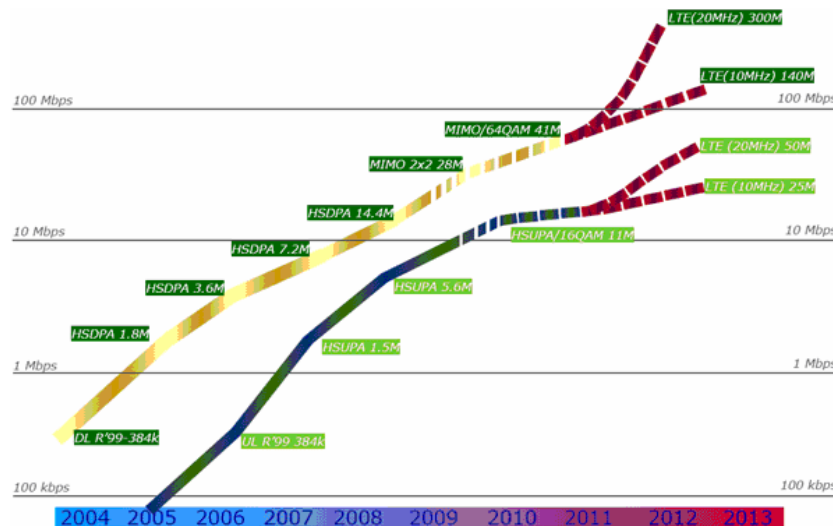


Figura 5.3 - Evolução das tecnologias utilizadas nas redes móveis e débitos máximos suportados por cada uma delas.

Conforme se pode constatar pela figura 5.4, para além de suportar maiores débitos, as redes LTE permitirão também aos operadores móveis reduzir significativamente o custo por bit transmitido, graças às características da modulação adoptada, que maximiza a capacidade das células de rede, através da optimização dos recursos atribuídos a cada cliente.

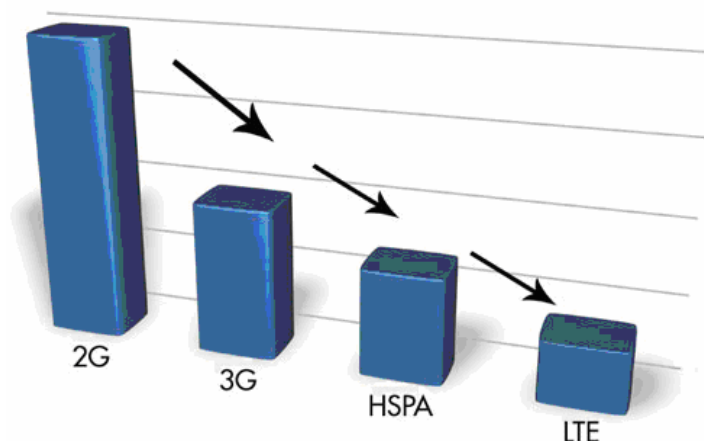


Figura 5.4 - Tendência de redução no custo por bit, potenciada pela introdução de novas tecnologias nas redes móveis.

Este factor permitirá aos operadores de rede móvel continuar a acompanhar a tendência de redução de preço dos serviços prestados aos seus clientes, garantindo em simultâneo ofertas cada vez mais próximas (do ponto de vista de capacidade suportada) das que são apresentadas pelos operadores de rede fixa.

A evolução das redes móveis rumo à LTE, para além das oportunidades que tem associadas, exigirá dos operadores de redes móveis esforços na replanificação das suas redes. Estes esforços devem-se em grande parte a dois factores:

1. Frequência e modulação utilizadas nas redes LTE.
2. Débitos suportados.

Aquando da evolução das redes móveis de 2G para 3G, os operadores móveis aperceberam-se dos problemas que as frequências mais elevadas e os esquemas de modulação adoptados (QPSK) tinham na prestação de serviços em ambientes indoor - devido à atenuação que os materiais utilizados na construção dos edifícios têm nos sinais propagados pelas células de rede.

As frequências utilizadas nas redes de 4G serão ainda superiores às que suportam as redes de 3G e os esquemas de modulação (16QAM e 64QAM) previstos são ainda mais afectados pela introdução de barreiras físicas na propagação do sinal, pelo que os operadores terão forçosamente de encontrar soluções que lhes permitam responder eficazmente a estas limitações.

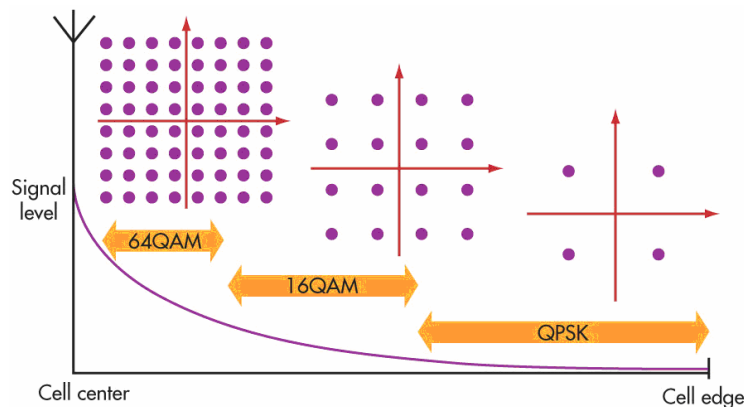


Figura 5.5 - Esquemas de modulação suportados nas redes LTE e sua aplicabilidade em função da qualidade de cobertura de rede.

Como se observa na figura 5.5 a atenuação verificada nos sinais propagados pelas células da rede macro degrada o desempenho dos serviços suportados. A utilização de esquemas de modulação de ordem mais elevada é a única forma das redes LTE garantirem maiores débitos dos que são suportados pelas redes de 3G, pelo que a garantia da qualidade/desempenho dos serviços prestados aos clientes está directamente relacionada com a qualidade do sinal que é captado pelo terminal que o cliente utiliza nas suas comunicações.

As femtocells, como referido, são elementos de rede desenvolvidos para melhoria de cobertura de ambientes indoor, pelo que a arquitectura proposta para as redes LTE já prevê a sua adopção. Actualmente o 3GPP, no processo de normalização das interfaces e protocolos

associados às femtocells, já define também os requisitos que terão de ser garantidos para adequação destes equipamentos à evolução prevista rumo à LTE.

A outra questão que se levanta são os débitos que se pretende suportar nas redes. Como se constata pela análise da figura 5.5, o suporte de débitos elevados só é conseguido recorrendo a esquemas de modulação de ordem superior aos que são utilizados nas redes actuais, no caso 64QAM e 16QAM. Como se vê estas ordens de modulação só são garantidas quando os clientes se encontram muito próximos do centro das células, onde a qualidade do sinal é melhor e em consequência os terminais estão mais protegidos contra efeitos de interferência que afectam a performance dos serviços.

Pode então afirmar-se que o desempenho dos serviços a suportar nas redes LTE está directamente relacionada com a dimensão das células, sendo que células de menor dimensão tipicamente garantirão serviços com melhor desempenho (pois os terminais estarão mais próximos do centro da célula e em consequência deverá ser possível usufruir de esquemas de modulação de ordem mais elevada (64QAM ou 16QAM)).

A opção de redução da dimensão da área de cobertura das células já hoje é seguida pelos operadores de rede móvel nas zonas onde existe maior densidade de tráfego (facto referido no capítulo 2 - *Enquadramento*). A redução do tamanho das células de rede tem como principal problema a necessidade de reutilização mais frequente das frequências, o que se traduz em maiores riscos de ocorrência de interferências, pelo que o recurso às femtocells, para responder às necessidades específicas de cobertura, permite por um lado minimizar a distancia entre os clientes e a antena (optimiza os débitos suportados) e o facto das femtocells operarem com potencias de emissão muito inferiores às que são utilizadas nas redes macro (e de possuírem mecanismos adaptativos de controlo de potência) permite mitigar os riscos de interferência verificados em zonas onde os operadores são forçados a instalar muitas células de reduzida dimensão.

Fica então claro que as características intrínsecas das femtocells, equipamentos desenvolvidos para melhoria de cobertura indoor e potencias de operação/capacidade de adaptação ao meio envolvente, são grandes mais valias para os operadores que evoluam rumo às redes LTE, permitindo responder simultaneamente às questões relacionadas com as dificuldades que os sinais de maior frequência terão na garantia de cobertura indoor e simultaneamente à necessidade de redução da dimensão das células de rede.

A adopção das femtocells, apesar de praticamente garantida no seio das redes LTE, exigirá o desenvolvimento de novos equipamentos com chipset específico, adaptado e com capacidade de processamento para lidar com os novos esquemas de modulação previstos nesta tecnologia.

Capítulo 6

Conclusões

Os factores que justificaram o desenvolvimento das femtocells são válidos e existem *drivers* bem definidos que justificam o investimento dos operadores nesta solução (redução de custos de *opex*, melhoria de qualidade de serviço, desenvolvimento de ofertas que permitam captar clientes dos operadores fixos, entre outros), no entanto observa-se que as ofertas disponibilizadas comercialmente apostam quase exclusivamente na capacidade que as femtocells têm de melhorar a cobertura *indoor*.

A meu ver, apesar desta ser a solução mais “fácil” de lançar uma oferta comercial para as femtocells, a melhoria de cobertura não deverá ser justificativo único para o investimento nesta solução. Existem muitas potencialidades de desenvolvimento de serviços suportados nas femtocells que poderão ser geradores de novas fontes de receita para os operadores de rede móvel e que certamente terão maior aceitação dos clientes (uma vez que a melhoria de cobertura deverá ser uma responsabilidade do operador e não do cliente).

Apesar de ser visível o esforço dos fabricantes e entidades envolvidas no desenvolvimento das femtocells, na definição de standards, as soluções actualmente disponibilizadas ainda se socorrem de interfaces e protocolos proprietários. Esta limitação, apesar de ter tendência para a curto prazo se extinguir, deverá ser um dos factores de pressão dos operadores junto dos seus fornecedores, pois apenas a disponibilização de soluções *fully standard* garantirão a total interoperabilidade entre fabricantes e consequentemente a quebra de preços nos equipamentos terminais (*FEMTOCELLS*) - algo que já foi observado nas soluções xDSL.

Outro dos factores a considerar no processo de dinamização do *deployment* das femtocells é a integração destas com outros elementos (e.g. modems/routers xDSL) que permitam a definição de ofertas *triple/quadruple play*. Tipicamente estas ofertas incrementam o ARPU e reduzem a taxa de *churn*, pelo que a aposta neste tipo de ofertas poderá ser um dos factores de sucesso para as femtocells.

As femtocells apresentam um conjunto de questões de ponto de vista da regulação, para o qual é urgente encontrar respostas. Factores como a operação em espectro regulado, a

instalação *plug-and-play* (instaladas pelos próprios clientes, em locais aos quais os operadores não terão acesso), ou o recurso a acessos BL existentes para a sua operação (para troca de sinalização e transporte do tráfego de e para o core da rede) coloca pressão nos operadores de rede móvel, pois estes estão obrigados a cumprir a regulação vigente e todos os factores supra identificadas colidem em algum ponto com as Leis que lhes são aplicáveis.

Apesar dos operadores estarem preocupados em encontrar mecanismos que permitam ultrapassar alguns dos “problemas” identificados existirão sempre questões que dependerão de tomada de posição do regulador - ANACOM - sobre a matéria. Existirá então a necessidade de definir as potenciais ofertas, e condições de prestação das mesmas, para consulta ao regulador, pois só após o aval das soluções apresentadas é que operadores poderão avançar confiantes com os seus planos.

Para além das questões regulamentares, que como se sabe dependem da análise do regulador, existem ainda outras questões de âmbito “social”, às quais os operadores terão também de prestar atenção. Apesar de funcionarem com potências muito inferiores às que se verificam nas células da rede Macro, as femtocells fazem parte da rede do operador de rede móvel.

Nos últimos anos tem-se observado uma preocupação crescente das pessoas com os impactos que as antenas instaladas no topo de mastros ou edifícios poderão ter na sua saúde, pelo que muito possivelmente surgirão dúvidas relativamente à segurança das femtocells, para as quais os operadores terão de ter respostas capazes e elucidativas, sob pena de este “ruído” poder influenciar negativamente a penetração das femtocells no quotidiano das pessoas.

Outro dos temas que terá de ser alvo de análise profunda é o processo de configuração das femtocells. Como foi visto, as femtocells serão instaladas pelos clientes e suportarão mecanismo de *plug-and-play* para obtenção da sua configuração e para poderem começar a operar. As femtocells funcionam no mesmo espectro de frequências que as restantes células da rede Macro e caso não sejam desenvolvidos mecanismos robustos que permitam identificar a localização de instalação das mesmas para definição da configuração que lhes será atribuída, a introdução das femtocells nas redes poderá revelar-se uma catástrofe, devido à potencial capacidade que estas têm em afectar a qualidade dos serviços prestados na rede Macro.

Têm de ser definidos os mecanismos que permitam identificar sem margem de erro as frequências/*Scrambling Codes* a utilizar na configuração de determinada femtocell e que permitam a alteração da sua configuração sempre que existam alterações no ambiente rádio que o justifiquem. Estes mecanismos terão de ser implementados quer ao nível da rede *core* (incluindo SI) dos operadores, quer ao nível das próprias femtocells que deverão suportar processos internos de monitorização da rede rádio para se poderem adaptar ao meio em que estão inseridas.

Outro dos tópicos a considerar na implementação das femtocells está relacionado com o meio escolhido para integração destas com o *core* das redes.

As soluções baseadas em femtocells socorrer-se-ão de acessos Internet BL (e.g. xDSL, GPON) para a sua integração no *core* das rede móveis. Sobre estes acessos, tipicamente, cursará mais tráfego do que aquele que é gerado pela femtocell. Em primeiro lugar, terão de ser claramente definidos e comunicados os requisitos mínimos que estes acessos terão de ter para que seja possível instalar uma femtocell sobre os mesmos e garantir a qualidade dos serviços suportados quer pela femtocell, quer pelo próprio acesso BL. Por último, há que identificar formas de priorizar tráfego (da femtocell e outro que o cliente gere sobre o acesso BL), pois poderão existir vários serviços, com diferentes requisitos, a competir pela largura de banda disponível e terá de se conseguir garantir que o tráfego mais crítico (voz, VoIP, vídeo, ...) tem prioridade sobre o restante tráfego gerado (http, p2p, ftp, ...).

Referências

- [1] Informação disponível em:
- Optimus: <http://www.optimus.pt/Particulares/Optimus/Cobertura/Cobertura/>
 - TMN: <http://www.tmn.pt/portal/site/tmn/menuitem.3d4521ffdeec3803d21ecd0851056a0/?vgnextoid=83224fbc91d4df00VgnVCM1000005a01650aRCRD>
 - Vodafone: <http://www.vodafone.pt/main/Ajuda/Cobertura/>
- Acesso em 25/Junho/2009.
- [2] Vincent Poulbere, “*Building a business case for femtocells*”, Ovum, Janeiro de 2008.
- [3] Pete Nuthall, “*Mobile Broadband USB Modems Take Off in Europe*”, Forrester, Julho de 2008.
- [4] Dr. Alastair Brydon, “*Wireless network traffic 2008-2015: forecasts and analysis*”, Analysys Mason, Novembro de 2008.
- [5] “*Mobile Networks Forecast*”, Informa Telecoms and Media, 2008
- [6] “*Global Mobile M&A: Analysys of the changing telecoms investment landscape*”, Informa Telecoms and Media, Agosto de 2008.
- [7] “*The Mobile Internet Transformation*”, Infonetics Research, Dezembro de 2008.
- [8] “*E-Communications household survey*”, Comissão Europeia, Junho de 2008.
- [9] Wireless Intelligence, Setembro de 2008. Figura retirada da página da GSMA (disponível em <http://www.gsmworld.com/technology/hspa.htm>). Acesso em 25/Junho/2009.
- [10] Notícia disponível em <http://www.wave-report.com/1999%20Wave%20issues/wave9034.html#anchor214093>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [11] Sítio do *Femto Fórum* disponível em <http://www.femtoforum.org/femto/index.php>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [12] Sítio do *Think Femtocell* disponível em <http://www.thinkfemtocell.com/>. Acesso em 25/Junho/2009
- [13] Sítio da oferta *Airave* da *Sprint* disponível em <http://www.nextel.com/en/services/airave/index.shtml>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [14] Sítio da oferta *Network Extender* da *Verizon Wireless* disponível em <http://www.verizonwireless.com/b2c/store/accessory?action=gotoFemtocell>. Acesso em 25/Junho/2009.

- [15] Sítio da oferta *Home Zone* da *StarHub* disponível em <http://www.starhub.com/portal/site/Mobile/menuitem.a0ea4137255c4bb530710a608324a5a0/?vgnextoid=6f19ff0a5c7dd110VgnVCM100000464114acRCRD>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [16] Notícia disponível em <http://www.totaltele.com/view.aspx?ID=446640&mail=31>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [17] “*Technical Briefing - Femtocell Concepts*”, Wray Castle, Agosto de 2008.
- [18] “*Mobile and WiFi Phones and Subscribers*”, Infonetics Research, Janeiro de 2007.
- [19] Manish Singh, “*Integrate Femtocells with existing wireless infrastructure*”, Fevereiro de 2008. Disponível em <http://www.mobilehandsetdesignline.com/showArticle.jhtml;jsessionid=OZHEB3CREKSOIQSNDLPCKHOCJUNN2JVN?articleID=206801641&queryText=femtocells>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [20] Sítio do 3GPP. Disponível em <http://www.3gpp.org/technologies>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [21] Roberta Wiggins, “*Finding a Femto Future*”, Yankee Group, Junho de 2008.
- [22] “*ABI Research*”, ABI, Setembro de 2006.
- [23] “Regulamento do 112L”, ANACOM. Disponível em http://www.anacom.pt/streaming/regulamento112L.pdf?contentId=840018&field=ATTACHED_FILE. Acesso em 25/Junho/2009.
- [24] “Directiva n.º 2002/22/CE”, Jornal Oficial da União Europeia, Março de 2002.
- [25] “Recomendação da Comissão Europeia n.º 2003/558/CE”, Jornal Oficial da União Europeia, Julho de 2003.
- [26] “Lei n.º 5/2004”, Diário da República 1ª Série, Fevereiro de 2004.
- [27] Sítio da União internacional das telecomunicações disponível em <http://www.itu.int/net/home/index.aspx>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [28] “Quadro nacional de atribuição de frequências”, ANACOM, Janeiro de 2009. Disponível em http://www.anacom.pt/streaming/qnaf2008_v1.pdf?contentId=955204&field=ATTACHED_FILE. Acesso em 25/Junho/2009.
- [29] “Decreto-Lei n.º 151-A/2000”, Diário da República 1ª Série, Julho de 2000.
- [30] “Despacho conjunto n.º 8/2002”, Diário da República 2ª Série, Janeiro de 2002.
- [31] Sítio da Comissão Internacional para a Protecção das Radiações Não Ionizantes (ICNIRP) disponível em <http://www.icnirp.de/>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [32] “Recomendação da Comissão Europeia n.º 1999/519/CE”, Jornal Oficial da União Europeia, Julho de 1999.
- [33] “Portaria 1421/2004”, Diário da República 1ª Série, Novembro de 2004.
- [34] “*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*”, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Abril de 1998.

- [35]Sítio da World Health Organization disponível em <http://www.who.int/en/>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [36]Sítio da GSM Association disponível em <http://www.gsmworld.com/health/>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [37]Sítio do Mobile Manufacturers Forum disponível em <http://www.mmfa.org/>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [38]“*TR 23.830 V0.4.1. - Architecture aspects of Home NodeB and Home eNodeB (Release 9)*”, 3GPP, Abril de 2009.
- [39]“*TS 25.467 V8.1.0. - UTRAN architecture for 3G Home NodeB*”, 3GPP, Março de 2009.
- [40]Notícia de publicação do standard *TR-196* disponível em <http://www.femtoforum.org/femto/pressreleases.php?id=103>. Acesso 25/Junho/2009.
- [41]“*TS 25.468 V8.1.0. - UTRAN luh Interface RANAP User Adaptation signalling*”, 3GPP, Março de 2009.
- [42]“*TS 25.469 V8.1.0. - UTRAN luh Interface Home NodeB Application Part signalling*”, 3GPP, Março de 2009.
- [43] Stephen Kent, “*RFC4306 - Internet Key Exchange Protocol V.2 - IKEV2*”, IETF, Dezembro de 2005.
- [44]“*TR-069 - CPE WAN Management Protocol v1.1*”, Broadband Forum, Dezembro de 2007.
- [45]“*TR-196 - Femto Access Point Service Data Model*”, Broadband Forum, Abril de 2009.
- [46]“*Femtocell Interference and Frequency V. 1.0*”, GSM Association, Maio de 2008.
- [47]“*TR 25.820 V8.2.0. - 3G Home NodeB Study Item Technical Report (Release 8)*”, 3GPP, Setembro de 2008.
- [48]Vídeo de demonstração da aplicação “*Virtual Fridge Notes*” disponível em http://www.youtube.com/watch?v=2knio8cyVHE&feature=player_embedded. Acesso em 25/Junho/2009.
- [49]Sítio da ip.access disponível em <http://www.ipaccess.com/>. Acesso em 25/Junho/2009.
- [50]Dr. Alastair Brydon e Dr. Mark Heath, “*How to succeed with Fixed-Mobile Convergence*”, Analysys Research, Setembro de 2007.
- [51]Peter Dykes, “*Voice not enough to ensure success of femtocells, analyst says*”, 3G Wireless Broadband, Dezembro de 2007.
- [52]“*Femtocells: Transforming the indoor experience*”, Airvana.
- [53]“*Challenges in deployment of UMTS/HSDPA Femtocell*”, Aricent, Fevereiro de 2008.
- [54]Peter Jarich, “*Femto fray: The what and why of Femtocells*”, Current Analysis Advisory Report, Outubro de 2006.
- [55]“*Regulatory aspects of femtocells*”, Femto Forum, Maio de 2008.
- [56]Christian Lagerling and Paul Rutherford, “*Femtocells: hype or reality?*”, GP Bullhound, Maio de 2007.
- [57]“*GSMA Femtocell Project*”, GSM Association, Fevereiro de 2009.
- [58]“*An evaluation of in-building wireless coverage*”, Infonetics Research, Junho de 2007
- [59]David Chambers “*Femtocell Primer*”, lulu.com, Novembro de 2008.
- [60]Sean Jackson, “*Home delivery*”, Mobile Communications International, Setembro de 2008.

- [61]Aaron Sipper "*Connecting when it counts: the role of femtocells in emergency calls*", Nextpoint Networks.
- [62]Steven Hartley, "*Femtocell technology update: not ready until 2010*", Ovum, Setembro de 2008.
- [63]Vincent Poulbere, "*Femtocells: analysing the business case*", Ovum, Novembro de 2007.
- [64]Susan Eustis, "*Femtocells - Effective, efficient, automated local base station markets expected to reach \$9 Billion by 2014*", WinterGreen Research, Inc., Maio de 2008.